

Proyecto Fin de Grado

Ingeniería de las Tecnologías Industriales

Fabricación y puesta a punto de máquina cortadora de discos de chapa

Autor: David Ruiz Verdute

Tutora: Aida Estévez Urra

Dpto. Ingeniería Mecánica y Fabricación
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla

Sevilla 2018



Proyecto Fin de Grado
Ingeniería de las Tecnologías Industriales

Fabricación y puesta a punto de máquina cortadora de discos de chapa

Autor:

David Ruiz Verdute

Tutora:

Aida Estévez Urra

Profesora colaboradora

Dpto. de Ingeniería Mecánica y Fabricación

Escuela Técnica Superior de Ingeniería

Universidad de Sevilla

Sevilla, 2018

Proyecto Fin de Carrera: Fabricación y puesta a punto de máquina cortadora de discos de chapa

Autor: David Ruiz Verdute

Tutora: Aida Estévez Urrea

El tribunal nombrado para juzgar el Proyecto arriba indicado, compuesto por los siguientes miembros:

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

El Secretario del Tribunal

Sevilla, 2018

Agradecimientos

En primer lugar, quiero dedicar estas palabras de agradecimiento a mi familia por todo su esfuerzo y el apoyo que me han brindado a lo largo de la carrera, y a mi pareja, por ayudarme a superar los momentos más complicados. Sin ellos no hubiera llegado este momento y les estaré eternamente agradecido por ello.

También quiero hacer mención de mi gratitud a todos los compañeros y amigos que han formado parte de mi vida estudiantil en este periodo y que gracias a ellos el camino haya sido más ameno. No quiero dejar atrás en los agradecimientos a todo aquel personal docente que me ha aportado numerosos conocimientos en el desarrollo del grado.

Por último, me gustaría agradecer a mi tutora, Aida, por su ayuda y por haberme propuesto este trabajo para poner el broche final de la carrera, siendo una de las experiencias más enriquecedoras de la misma. Y esto es debido, en gran medida a Manuel, maestro de taller de la escuela, al que estoy especialmente agradecido, por su inestimable trabajo, por sus consejos y por su compañía en la fabricación, montaje y puesta a punto de la máquina.

Resumen

El documento que es presentado a continuación, hace referencia al trabajo realizado en el taller del área de Ingeniería de los Procesos para la fabricación y puesta a punto de una máquina cortadora de discos de chapa.

Este proyecto viene precedido de dos trabajos centrados en el diseño de la máquina. Por ello, primero, se mostrará el diseño original de la máquina y a continuación se expondrán las modificaciones realizadas con las justificaciones pertinentes. Una vez rediseñada, se detallarán los procesos de fabricación de las piezas que conforma la máquina, ilustrados con imágenes. Del mismo modo, se expondrán los pasos seguidos en su montaje.

Posteriormente se explicará la concepción, fabricación y montaje de partes de la máquina no contempladas en el diseño original.

Y por último, se detallaran las pruebas de funcionamiento realizadas para la puesta a punto de la máquina.

Índice

1. Introducción	13
1.1. Antecedentes	13
1.2. Objetivos	13
1.3. Tareas a desarrollar	14
2. Estructura de la máquina	15
2.1. Diseño original.....	15
2.2. Modificaciones de diseño.....	17
2.3. Fabricación	24
2.3.1 Estructura	24
2.3.2 Casquillo porta tornillo.....	28
2.3.3 Tornillo con volante.....	29
2.3.4 Alojamiento del rodamiento cónico inferior.....	31
2.3.5 Cilindro con ajuste y rosca	33
2.3.6 Plato inferior.....	34
2.3.7 Plato superior	35
2.3.8 Torres soporte de mecanismo de corte	36
2.3.9 Base	40
2.3.10 Mecanismo corredera	41
3. Mecanismo de corte.....	42
3.1. Diseño original.....	42
3.2. Modificaciones del diseño.....	43
3.3. Fabricación	46
3.3.1 Ejes	47
3.3.2 Ruedas dentadas	50
3.3.3 Chavetas	51
3.3.4 Manivela.....	52
4. Montaje	54
4.1 Rodamientos	54
4.2. Estructura y sistema de sujeción.....	55
4.3. Estructura, mecanismo corredera y base	55
4.4. Mecanismo de corte.....	57
5. Elementos auxiliares	59

Índice

5.1. Carcasa protectora	59
5.2. Sistema de posicionamiento lateral y selección de radio de chapa.....	61
6. Pruebas de funcionamiento	64
6.1 Corte de láminas metálicas	64
6.2 Puesta a punto de la máquina.....	65
6.2.1 Primeros cortes	65
6.2.2 Correcciones adoptadas	66
6.2.3 Corte de materiales de mayor exigencia.....	66
6.2.4 Nuevos platos de agarre	67
6.2.5 Origen del problema y solución constructiva.....	69
6.3 Instrucciones para el corte	70
6.4 Resultados de los cortes.....	73
6.4.1 Aluminio 2024-T3	73
6.4.2 Aluminio 7075-O	74
6.4.3 Acero DC01.....	74
6.4.4 Policarbonato	75
7. Conclusiones.....	77
8. Planos	79
9. Bibliografía	80

1. Introducción

1.1. Antecedentes

Una de las tareas, que se llevan a cabo en los laboratorios del área de Ingeniería de los Procesos de Fabricación de la Escuela Superior de Ingeniería de la Universidad de Sevilla , es el ensayo de probetas de diferentes materiales para la investigación y el análisis de la deformación plástica.

Para realizar los ensayos es imprescindible preparar previamente las probetas y así evitar posibles fallos durante el ensayo, como también, la obtención de resultados que representen correctamente el comportamiento del material.

En algunos de dichos ensayos, se usan como probetas, chapas circulares. La preparación de las láminas metálicas empleadas se realiza con tijeras de cizallar con la idea de obtener la circularidad requerida por la probeta, ya que no se dispone de una máquina cortadora de discos de chapa.

De esta necesidad se plantean los Trabajos Fin de Grado realizados por De la Rosa [1] y Daza [2], que suponen el diseño pormenorizado de una máquina cortadora de discos de chapa. El trabajo realizado por los autores comprende lo siguiente:

- Desarrollo teórico de los fundamentos del conformado plástico, centrándose en la operación de corte de chapas. Así como un estudio de las máquinas cortadoras de chapas existentes en el mercado, para establecer una idea previa del diseño de la máquina.
- Estudio, selección y cálculo de todas las partes que conforman la máquina. Esta sección es el grueso de ambos trabajos, donde se concibió el diseño de la máquina.
- Establecimiento de unas pautas para la fabricación y montaje de las diferentes piezas de la máquina.

Por ello, el trabajo que se va exponer a continuación, será la consecución y finalización de las tareas que quedaron pendientes en los trabajos anteriormente mencionados.

1.2. Objetivos

Una vez expuesto los antecedentes que conllevaron la consecución de este trabajo y viendo las tareas que en los anteriores trabajos, quedaron pendientes, los objetivos principales de este trabajo serán la fabricación y el montaje de la máquina cortadora de discos de chapas previamente diseñada. También será objetivo del mismo el manejo y uso del prototipo construido.

Como objetivos secundarios y subyacentes de propio trabajo del taller, serán las diferentes modificaciones y cambios de diseño, que se llevarán a cabo, siempre con la máxima de aprovechar las posibilidades de material y maquinarias de las que cuenta el taller de fabricación, siendo estas “modificaciones” la adaptación del diseño a dichas posibilidades.

1.3. Tareas a desarrollar

Las tareas a desarrollar en este trabajo son las siguientes:

- Análisis de la viabilidad constructiva de las diferentes partes de la máquina, sobre plano y de forma orientativa, para la búsqueda posterior de materiales.
- Búsqueda de los materiales, que puedan servir de cuerpo para la fabricación de las diferentes piezas que conforman la estructura de la máquina.
- Compra de piezas o material con el que no se cuente en el taller o no se pueda llevar a cabo su fabricación. Ejemplos de ellas, son las cuchillas que ya se consiguieron durante el desarrollo de los anteriores trabajos, así como los rodamientos necesarios en la máquina.
- Adaptación y modificaciones del diseño. Se estudiarán, evaluarán y concebirán los cambios necesarios en el laboratorio, acordes a la máxima de aprovechar las posibilidades del taller, antes mencionadas, con el fin de facilitar las posteriores tareas de fabricación y montaje de la máquina.
- Se realizarán múltiples operaciones de fabricación como pueden ser, cortes, mecanizados, soldaduras, lijado, pintado,...; con diferentes máquinas o herramientas del taller, como pueden ser, cortadoras, taladradoras, radial, torno, fresadora, lijas...; para ello se contará con el equipamiento de protección necesario en cada operación. Algunas de estas máquinas necesitan una cualificación, por lo que el maestro de taller se encargará de su uso.
- Se acometerá el montaje de las diferentes piezas de la máquina. Algunas uniones estructurales se realizarán mediante soldadura, mientras que otras más críticas, se realizarán mediante uniones atornilladas, con el objetivo de poder remplazar piezas en el futuro, por fallo en el uso continuado, así como adaptaciones y mejoras futuras.
- Se crearán planos acordes a las diferentes modificaciones realizadas del diseño original.
- Una vez montada y lista para el funcionamiento, se probará la máquina para el corte de probetas con diferentes espesores y materiales.

2. Estructura de la máquina

La estructura de la máquina comprende el soporte de la misma y además es portadora de los mecanismos de sujeción de las chapas, de selección del diámetro de disco a cortar y la sustentación del mecanismo de corte proporcionándole el ángulo de ataque para las cuchillas. También la estructura permitirá poder ser fijada a una mesa de trabajo, así como, ser trasladada en el taller, cuando sea requerida.

Todo ello marca las partes bien diferenciadas que la componen, la estructura en arco junto con el sistema de soporte y sujeción de las probetas, las torres que soportan del sistema de corte con alojamientos para rodamientos, y por último, el sistema corredera, para elegir el tamaño de probeta que se necesite cortar, conjunto a la base de la estructura.

En los sucesivos apartados se presentará, el diseño original, llevado a cabo por De la Rosa [1], las modificaciones que se han realizado sobre él y la fabricación de la estructura de la máquina a partir del diseño actualizado.

2.1. Diseño original

En la figura 2.1, se puede observar un conjunto del diseño original de la estructura de la máquina con sus partes componentes:

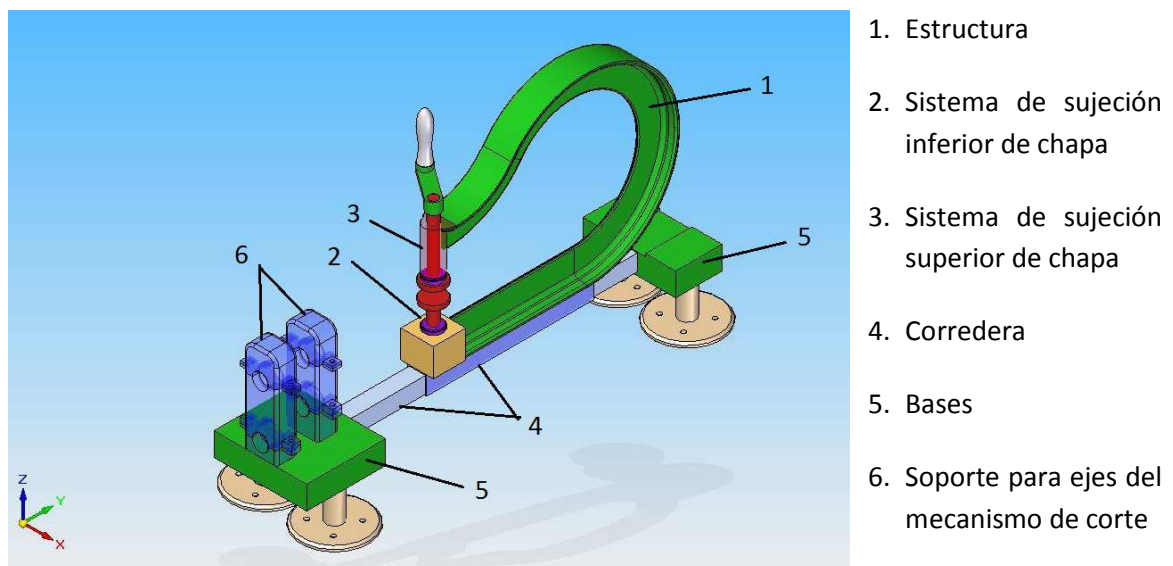
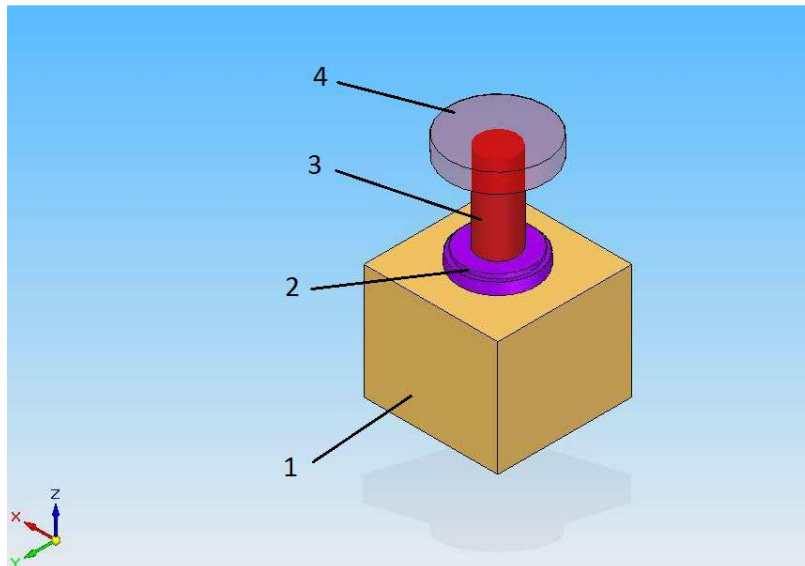


Figura 2.1 Diseño original de la estructura de la máquina. [1]

- **Estructura.** Está formado por una viga de perfil T60. La estructura posee ese arco tan peculiar con los objetivos siguientes: minimizar puntos concentradores de tensiones, permitir el alojamiento de probetas cuadradas superiores al tamaño de las que son ensayadas en el laboratorio y soportar el peso del sistema de sujeción de la chapa y la chapa en sí. También, la apertura final entre los extremos de la viga, proporcionará la longitud requerida para el acomodo del sistema de sujeción de las chapas.

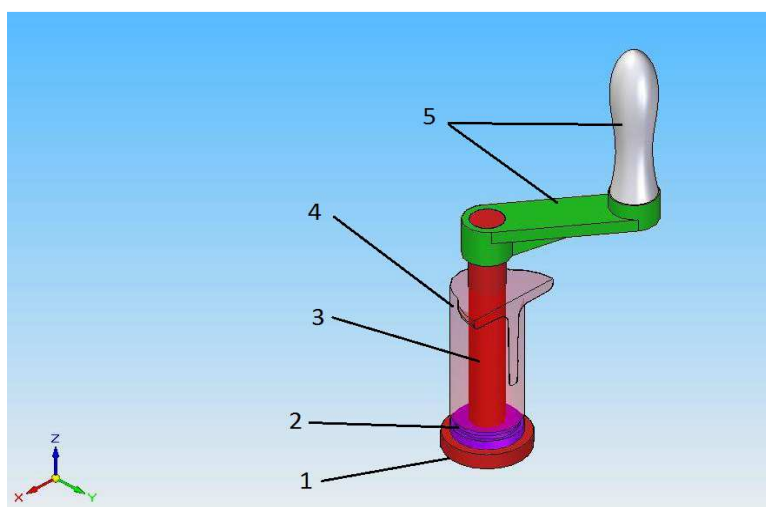
- Sistema de sujeción de chapa inferior. En la figura 2.2 se pueden apreciar las partes que lo componen. De abajo arriba, un paralelepípedo rectangular en el que se ha mecanizado el alojamiento para un rodamiento axial cónico con su ajuste correspondiente. Interior al rodamiento se introduce un cilindro con su ajuste por el lado inferior, mientras que por el superior posee una rosca. El último elemento que compone la sujeción se trata del plato inferior, donde serán apoyadas las chapas. Dicho plato posee un orificio roscado para roscar con el cilindro.



1. Alojamiento del rodamiento cónico inferior
2. Rodamiento cónico 30203 F
3. Cilindro con ajuste y rosca
4. Plato inferior

Figura 2.2 Sistema de sujeción inferior. [1]

- Sistema de sujeción superior, compuesto por, de abajo arriba, el plato superior, que formará parte de la sujeción de la chapa junto con el inferior. Este plato posee en su superficie superior una cavidad mecanizada que será el alojamiento de otro rodamiento axial cónico con las mismas características. A continuación, un tornillo M20, en su parte inferior tiene el ajuste que acopla con el diámetro interior del rodamiento. Un casquillo con rosca interior M20, es en donde se introducirá el tornillo y a su vez se unirá a la estructura por su superficie externa con la forma del perfil T60.



1. Plato superior
2. Rodamiento cónico 30203 F
3. Tornillo M20
4. Casquillo
5. Manivela

Figura 2.3 Sistema de sujeción superior. [1]

Para culminar, en la parte superior del tornillo que sobresale del casquillo, se colocará la manivela, que será accionada para bajar o subir el tornillo, es decir, fijar la chapa para ser cortada o soltar la chapa una vez cortada. En la figura 2.3, arriba, se puede observar las partes antes mencionadas.

- Mecanismo corredera. Este mecanismo permitirá variar el diámetro de disco de chapa que se pretenda cortar. Lo componen dos barras de sección cuadrada, concéntricas y perforadas en su interior, que se pueden observar en la figura 2.1. Una deslizará sobre la otra que permanecerá fija. Encima de la barra corredera, irá soldado el arco estructura.
- Bases. Con dos partes separadas, serán los apoyos en los extremos de la barra fija del mecanismo corredera. Son dos bloque metálicos, que se han diseñado de tal manera, que la barra fija se introduzca con apriete en dos cavidades de sección cuadrada, que se mecanizarán en dichas bases. A su vez, se cuenta con cuarto pies en el taller, que irán soldados dos a dos en cada bloque, funcionando de patas de la estructura global de la máquina.
- Soportes para los ejes del mecanismo de corte. Como se puede apreciar en la figura 2.1 son dos y cada uno de ellos estará formado por tres partes, que se unirán posteriormente con tornillos y la parte inferior de ambos soportes se soldarán a una de las bases. Cada soporte o torre albergará dos rodamientos radiales de bolas. El mecanizado de los ajustes de las torres, en los rodamientos inferiores, se realizará con el ángulo de 15°, los superiores, rectos, así garantizando el encuentro de las cuchillas con el ataque requerido.

2.2. Modificaciones de diseño

El diseño original de la estructura del mecanismo es la base de la que ha partido y en la que se ha desarrollado este trabajo. No obstante, ha estado sujeto a diferentes modificaciones intentando siempre respetar el diseño o la esencia del mismo.

Toda adaptación del diseño ha venido supeditada a el aprovechamiento de los materiales del taller, a las máquinas disponibles para la fabricación de las piezas y también a ciertas simplificaciones de las operaciones de mecanizado demasiado complejas en su concepción.

Siguiendo el mismo orden del apartado anterior, a continuación se van a presentar las modificaciones realizadas, pieza por pieza, al diseño original:

Estructura.

El perfil escogido para el diseño original fue un perfil T60 de acero estructural. En el taller no se disponía de un perfil de esas características geométricas. Se halló un perfil T80 con mayor alma y ala, así como un espesor superior a la viga seleccionada, pero una longitud muy inferior a las dimensiones requeridas con el posterior doblado.

Se tomó la decisión de utilizar un perfil diferente que compartiera similitudes dimensionales con el T60, al cual posteriormente se reforzaría si fuera necesario, para buscar un comportamiento parecido al del diseño original.

Fabricación. Estructura de la máquina

El perfil finalmente seleccionado fue un perfil U60 con 30 mm de alas. Ambos perfiles, compartían alma, diferenciándose en la longitud de ala, ya que el anterior poseía un ala de 60 mm.

Una vez conseguido otorgar la curvatura al perfil, se observó la necesidad de reforzar el perfil, para restringir el leve movimiento vertical existente entre los extremos de la estructura. Por ello se decidió emplear una cresta con forma de luna en el centro del alma, funcionando de nervio, consiguiendo restringir casi en su totalidad dicho movimiento.

Debido a las dificultades en las operaciones para dar la forma apropiada al perfil similar al diseño previo, las dimensiones finales de dicha estructura no son las mismas del diseño original.

Como se puede apreciar en la figura 2.5, el doblado se ha dado en sentido contrario al del diseño original. Los motivos se justificarán en el apartado 2.3.1 de fabricación de la estructura. En la imagen, se puede observar el nuevo diseño de la estructura:

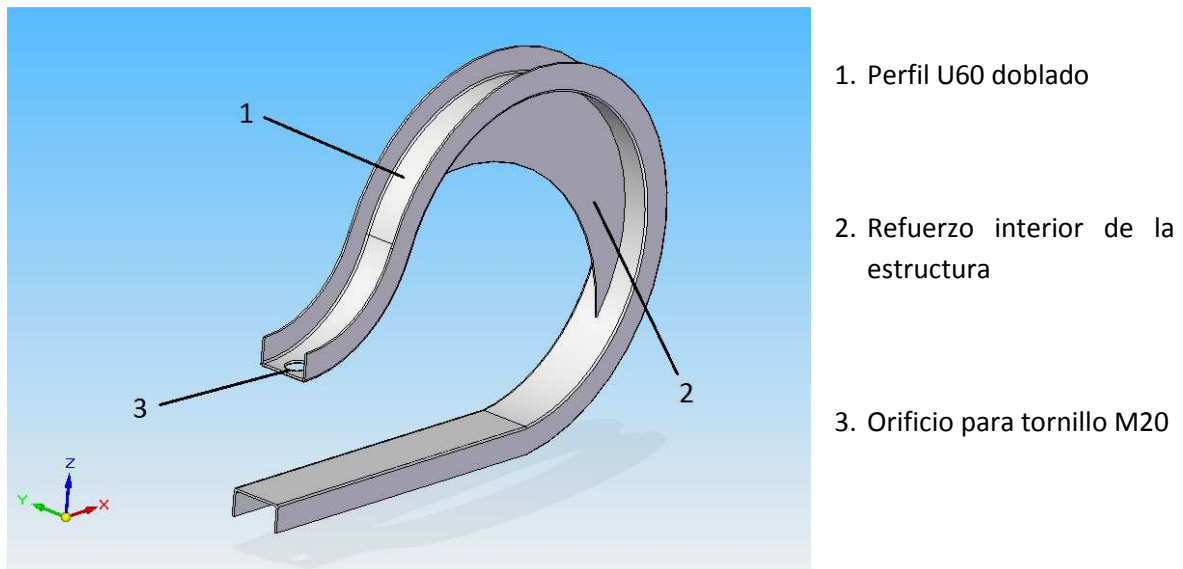


Figura 2.5 Estructura.

Alojamiento de rodamiento cónico inferior.

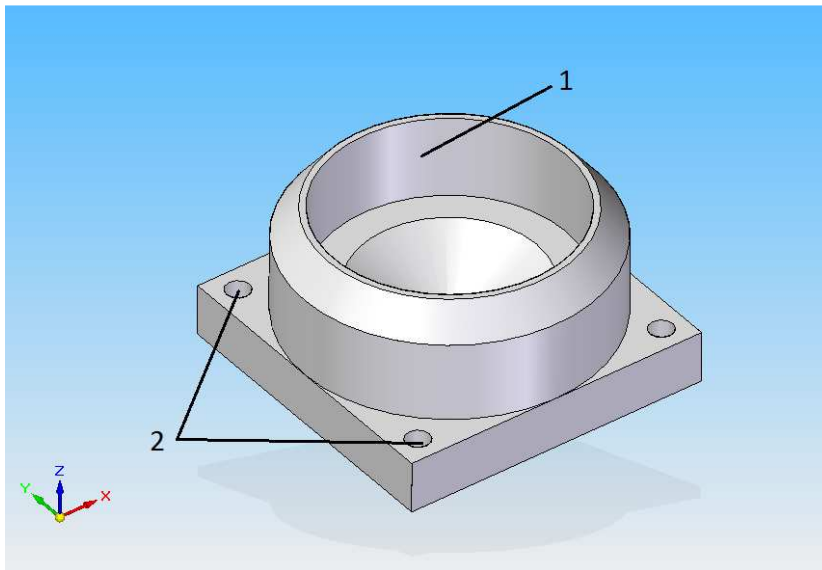
El paralelepípedo de sección cuadrada del diseño original que sirve como alojamiento del rodamiento cónico y apoyo del sistema de sujeción de chapas inferior, ha sido modificado en sus dimensiones y en su forma de unión con el perfil.

El tamaño requerido por la cavidad para el ajuste es $\varnothing 40$ mm. El material de partida empleado fue una barra maciza de acero estructural de sección cuadrada de lado 50 mm.

Debido a las operaciones de torneado que requería la pieza para realizar la cavidad del ajuste, se optó también por cilindrar la parte externa con una longitud similar a la profundidad del alojamiento para el rodamiento.

Por último, el apoyo de esta pieza en el estructura se decidió cambiar. La pieza estaría colocada sobre la viga y no soldada en su extremo inferior. Esta adaptación es consecuencia de la nueva disposición de la estructura, diferente a la del diseño original. Con ello se optó también por realizar esta unión atornillada, para permitir recambio de cualquier pieza del conjunto que

conforma el sistema de sujeción inferior. De modo que se empleó una pequeña pletina metálica que iría soldada en la estructura en arco y en donde se atornillará la pieza en cuestión. En la figura 2.6 se puede ver el diseño final de la misma.



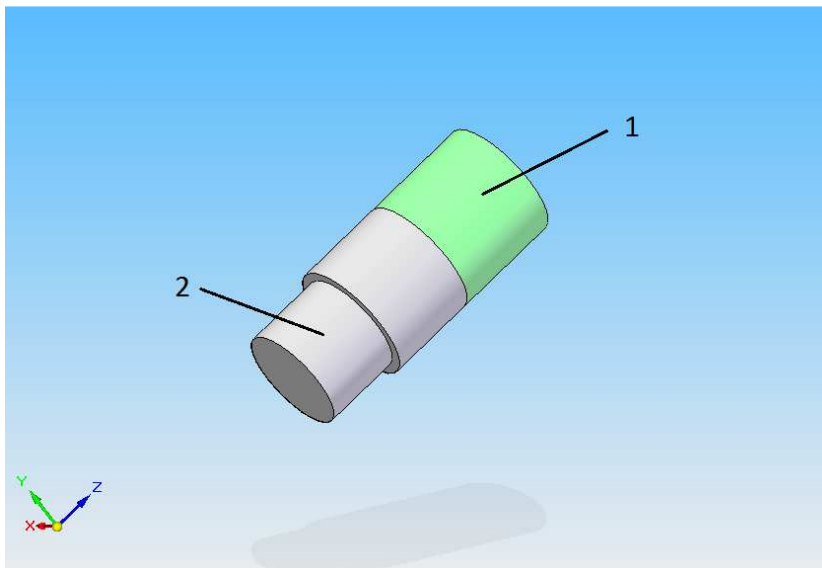
1. Zona de ajuste exterior con el rodamiento cónico inferior

2. Orificios pasantes para tornillos de M4

Figura 2.6 Alojamiento del rodamiento cónico inferior.

Cilindro con ajuste y rosca.

El diseño original de dicha pieza ha sido mantenido a excepción de las dimensiones del mismo, debido al ajuste de la distancias entre los sistemas de sujeción inferior y superior de las chapas.



1. Zona con rosca de M20

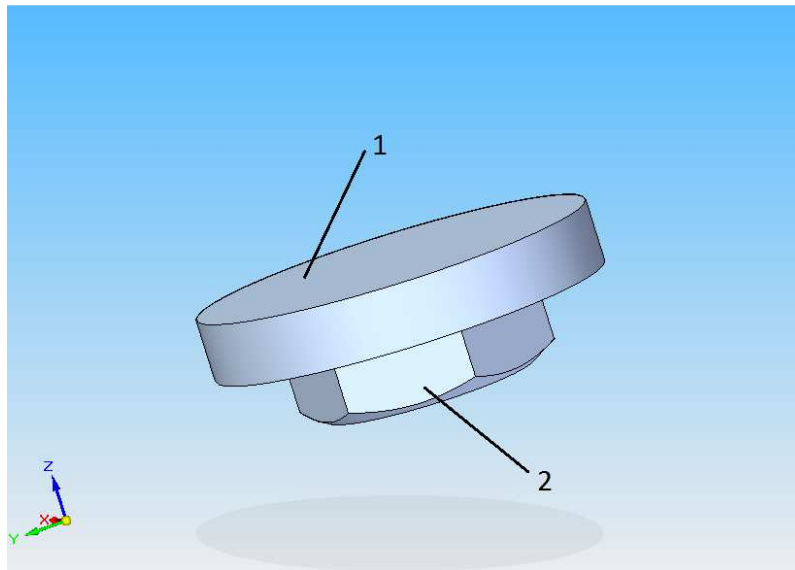
2. Zona de ajuste interior con el rodamiento cónico inferior

Figura 2.7 Cilindro con ajuste y rosca.

Plato inferior.

Con el objetivo de facilitar las operaciones de mecanizado evitando realizar el roscado interior en el plato inferior, se decidió soldar al mismo, una tuerca M20 que roscase con el cilindro.

El diseño del plato se puede observar en la figura 2.8.



1. Superficie inferior de sujeción, $\varnothing 50$ mm

2. Tuerca de M20

Figura 2.8 Plato inferior.

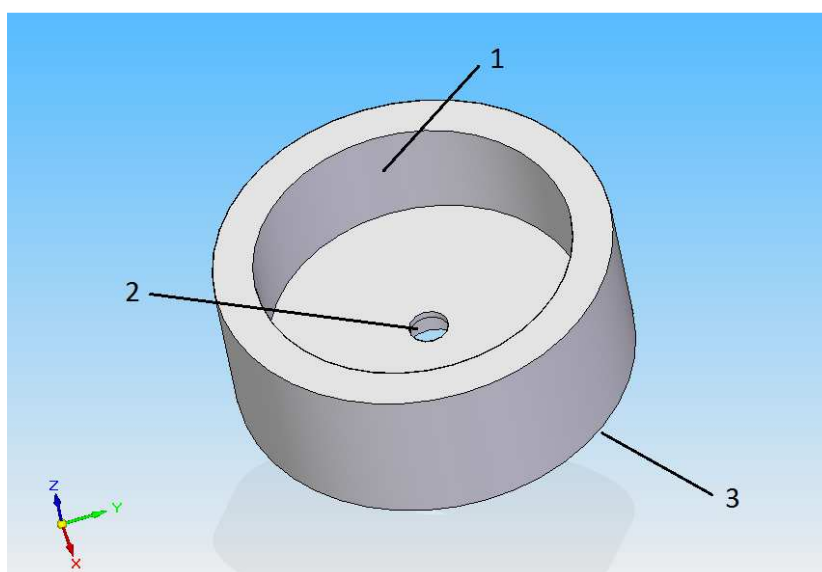
Plato superior.

El diseño inicial ha sido reestudiado debido a la disposición del rodamiento que alberga el plato.

El rodamiento cónico empleado no posee la pista de rodadura unida al conjunto del rodamiento. Eso implica que por gravedad ambas partes del rodamiento se separarían, justo lo contrario a lo que sucede en el rodamiento inferior, que tiende a unirse.

Para subsanar este problema se utilizó un “tirante” que impidiera la separación, pero que permitiera el giro libre entre el tornillo y el conjunto del plato con el rodamiento. Dicho tirante se trata de un pequeño tornillo de M4 embutido en el plato, sujetándolo, no apretándolo, y roscado en el tornillo M20 en su parte inferior. Se ilustrará con más detalle en los sucesivos apartados.

Aquí se puede ver el nuevo diseño del plato superior:



1. Superficie de ajuste interior con el rodamiento cónico superior

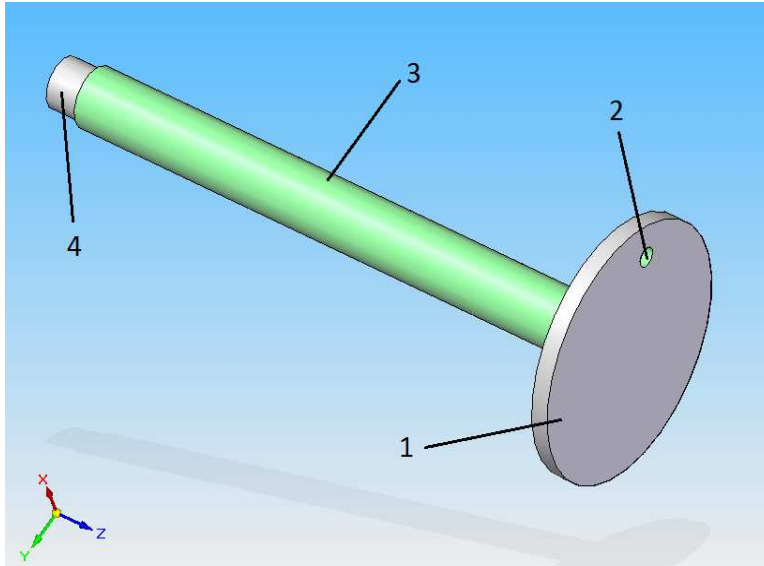
2. Orificio para tornillo “tirante”

3. Superficie superior de sujeción de la chapa. Diámetro exterior $\varnothing 50$ mm

Figura 2.9 Plato superior.

Tornillo con volante.

Se tomó un tornillo en el taller con rosca M20, similar a la del diseño original, aunque no se encontró una manivela apropiada para su accionamiento. Se evitó la fabricación de una manivela, utilizándose un disco de acero de unos 6mm de espesor con un orificio central del diámetro apropiado, 20 mm, que podría usarse de volante para girar el tornillo. Este sería soldado al propio tornillo. En la siguiente imagen, 2.10, se puede ver su disposición:



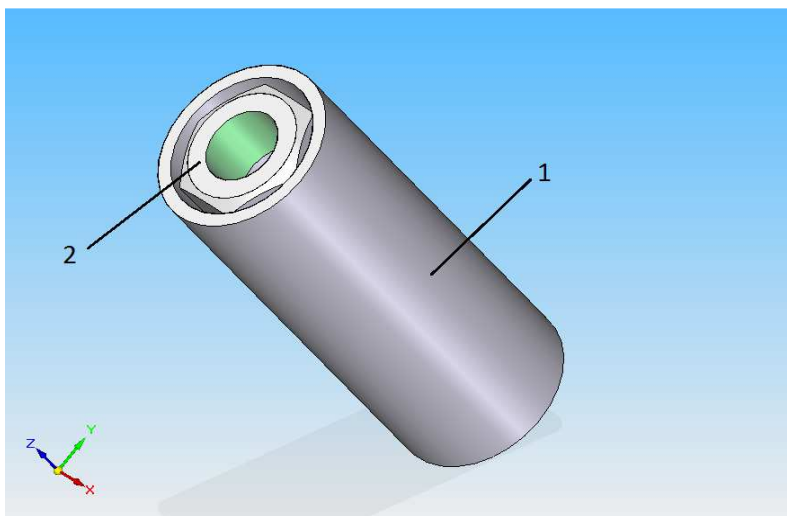
1. Volante
2. Orificio roscado para manivela (si se requiriera)
3. Tornillo de M20
4. Ajuste exterior con el rodamiento cónico superior

Figura 2.10 Tornillo con volante.

Casquillo porta tornillo.

El diseño inicial contemplaba el uso de un cilindro con rosca interna y en su superficie exterior mecanizar la forma del perfil para posteriormente soldarlo a este.

Se empleó del taller un tubo hueco de acero de $\varnothing 40$ mm con un espesor de 3 mm. Usándolo como casquillo se simplificó el diseño original, evitando la operación de roscado interior, utilizando dos tuercas en donde enroscase el tornillo de M20, soldadas internamente al casquillo, una en su parte superior y otra en su parte inferior. Su representación se puede ver en la figura 2.11:



1. Casquillo
2. Tuerca de M20. Tiene su simétrica por el otro extremo del casquillo

Figura 2.11 Casquillo porta tornillo.

A su vez, la dificultad que suponía elaborar el mecanizado con el dibujo del perfil, se sustituyó por la solución de soldar dicho casquillo encima de la estructura, previamente realizando un taladrado con apertura suficiente para el tornillo, como se observa en la figura 2.5.

Mecanismo corredera.

Las dos barras huecas de sección cuadrada que componen este mecanismo, fueron encontradas en el taller durante la elaboración de los proyectos que preceden a este. Solo se ha modificado la longitud de la barra interior, la más extensa. Con ello se buscó limitar la excesiva carrera del mecanismo corredera, no necesaria para las probetas que se pretenden ensayar.

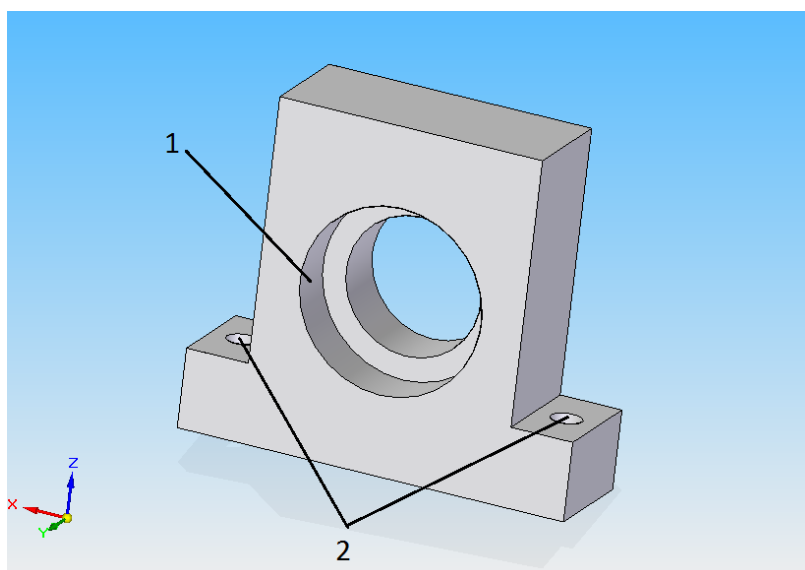
Torres soporte de mecanismo de corte.

Las dos razones que han motivado el cambio de diseño original de los soportes, vistos en la figura 2.1, son las siguientes:

La primera, para llevar a cabo el correcto mecanizado de las cavidades donde asentarían los rodamientos, sería necesario que se realizara antes de proceder a la división del soporte en tres partes, y no puede realizarse ya que las paredes impiden el mecanizado sin las divisiones. Esta necesidad es debida a la exactitud que requiere mecanizar un ajuste con unas tolerancias exigidas.

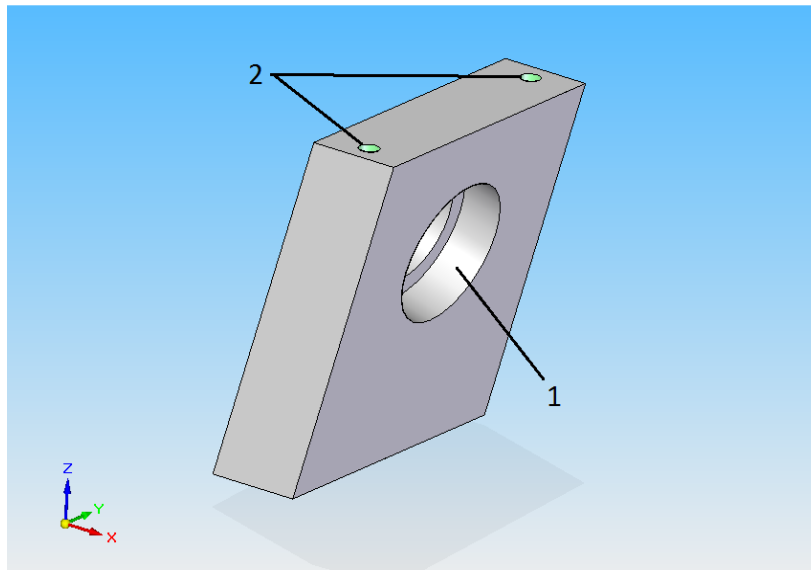
La segunda, si no existiera una de las paredes, se podrían mecanizar las cavidades de los rodamientos. Pero seguiría siendo dificultosa la operación en los alojamientos con la inclinación de 15°.

Consecuentemente, se pensó en una alternativa, que consistió en el empleo de una viga rectangular maciza de sección 100x30 mm², para la fabricación las partes de los nuevos soportes. La idea de diseñar unas torres que sustituyeran a los soportes originales, preservando la esencia, pero que esquivaran las dificultades que estos suponían, dio pie al nuevo diseño que se pueden ver en las siguientes imágenes:



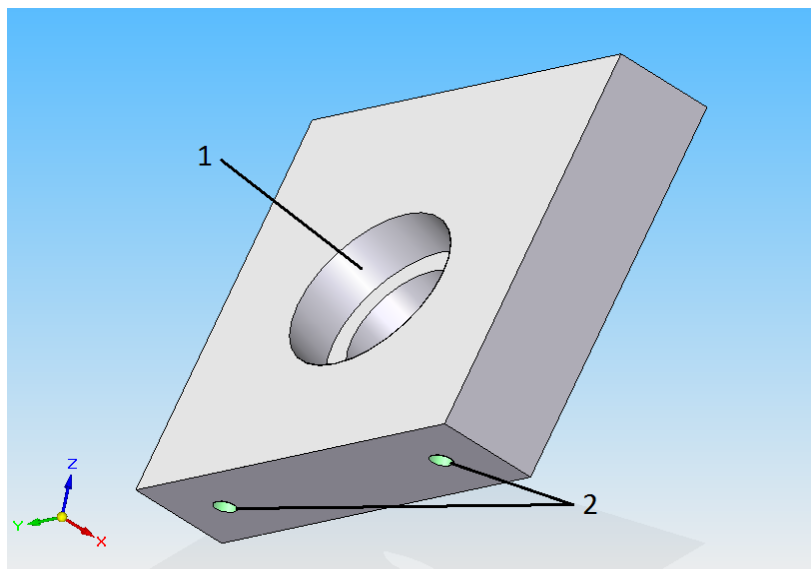
1. Ajuste interior con rodamiento radial superior
2. Orificios pasantes para los tornillos de M8 que unen las partes de las torres

Figura 2.12 Parte superior de las torres.



1. Zona de ajuste interior con rodamiento radial inferior
2. Orificios roscados para unión con tornillos de las partes de las torres

Figura 2.13 Parte inferior de la torre 1.



1. Zona de ajuste interior con rodamiento radial inferior
2. Orificios roscados para unión con tornillos de M8 de las torres con la base

Figura 2.14 Parte inferior de la torre 2.

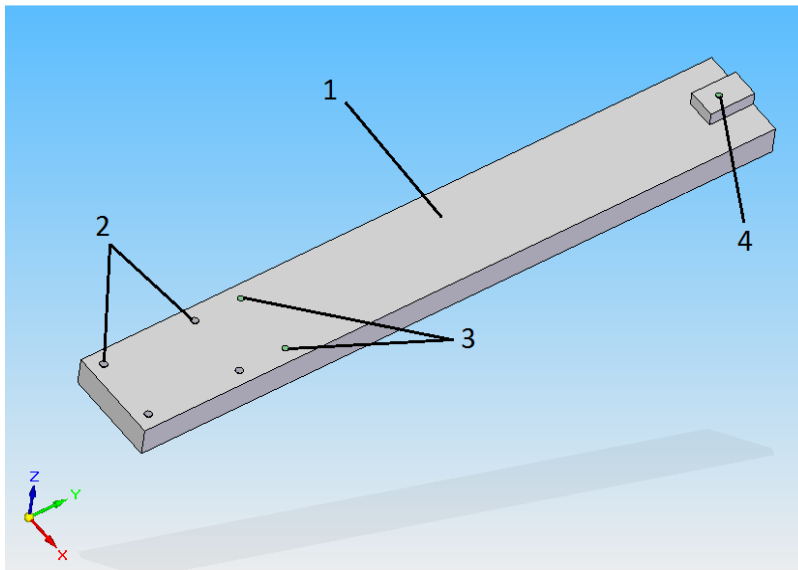
Se pueden observar en las figura 2.12, 2.13 y 2.14 como las torres se ha diseñado en dos partes en vez de tres, evitando así dividir el alojamiento del rodamiento y los problemas que conlleva. Del mismo modo se ha subsanado el problema que suponía mecanizar internamente el alojamiento, liberando una de las paredes. Y por último, se le ha otorgado a las partes inferiores de las torres el ángulo de 15° requerido por los ejes, facilitando su mecanizado.

Base.

Se ha cambiado por completo el diseño de las dos bases rectangulares separadas y se ha desechado el uso de las patas.

La justificación se debe a la falta en el taller de material de partida de los que se pudiera obtener ambas bases y a eso se le añade, la complejidad que hubiese supuesto realizar la perforación de sección cuadrada, que se requerían en el diseño, con las máquinas y herramientas del taller.

Como la principal función de la base es de servir de apoyo a los elementos de la máquina así como otorgar una estabilidad apropiada a la misma, se decidió utilizar la viga de 100x30 mm² de acero estructural, también empleadas para el diseño de las torres.



1. Base de la máquina
2. Orificios pasantes para tornillos de unión de las torres con la base
3. Orificios roscados de unión entre el mecanismo corredera y la base
4. Elemento de apoyo del mecanismo corredera con orificio roscado

Figura 2.15 Base.

2.3. Fabricación

El paso siguiente al estudio del diseño original y las modificaciones del mismo, es la fabricación de las diferentes piezas de la estructura de la máquina.

A continuación, se va ilustrar con explicaciones e imágenes, las tareas y operaciones realizadas en el taller para la fabricación de las piezas antes expuestas. El orden en el que se presentará cada pieza será el seguido cronológicamente en el taller. También cabe mencionar, que se realizaron numerosas tareas en paralelo en el tiempo, por lo que generalmente, no se fabricaron las piezas de manera consecutiva.

2.3.1 Estructura

Los pasos seguidos en la fabricación del estructura, a partir del perfil U60 encontrado en el taller, son los siguientes:

Se anotaron en la viga las longitudes de los planos del diseño original. Se sobredimensionaron las medidas para tener suficiente margen de adaptación a los planos. En la figura 2.16 se pueden ver la viga junto a un plato, de un diámetro similar a las dimensiones del arco, que sirvió de ayuda en el doblado posterior.

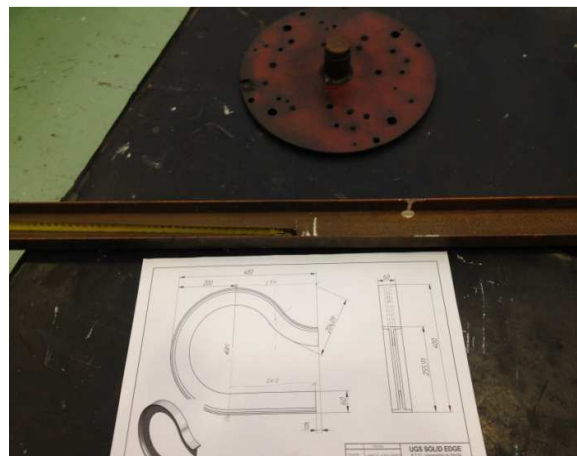


Figura 2.16 Perfil empleado para la estructura.

Fabricación. Estructura de la máquina

Se marcaron divisiones en las alas de la viga con el objetivo de realizarle numerosos cortes, para poder llevar a cabo el doblado. Por lo tanto, se llevó la viga después de estar marcada, a una tronzadora como se ve en la figura 2.17 y en la figura 2.18 se puede apreciar el resultado de los sucesivos cortes.



Figura 2.17 Viga y máquina tronzadora.



Figura 2.18 Cortes aplicados a la viga.

Una vez realizados los cortes se estudió cual era el sentido más apropiado para doblar el perfil para dar forma al arco de mayor diámetro del diseño. Por un lado, si se doblaba la estructura en el mismo sentido que el del diseño inicial, los propios cortes se irían cerrando, facilitando el doblado progresivo, pero dificultando el margen de maniobra para doblar lo requerido, exigiendo la apertura de dichos cortes para poder doblar más la estructura, lo que suponía el empleo de una máquina radial, con ese objetivo. Si se giraba la estructura en el sentido contrario, se podría doblar con mayor facilidad, pero la progresividad del doblado no la marcaría la viga, sino la propia fuerza manual ejercida sobre ella y la habilidad para ejecutarlo.

Se decidió doblar en sentido contrario al del diseño original, ya que se sopesó la idea de ir cerrando los cortes más abiertos con puntos de soldadura, buscando otorgar la forma requerida de arco.



Figura 2.19 Doblado del perfil.

Se comenzó con las operaciones de doblado del arco mayor y las soldaduras de los puntos más abiertos, de manera conjunta e iterativa. En este orden, se fijaba la viga a una mesa, se doblaba parte con fuerza manual, se observaba los cortes que llegaban a una apertura apropiada, se les daba puntos de soldadura para frenar la apertura, y se volvía a doblar. En la figura 2.19 se puede observar la primera operación de doblado y en la figura 2.20 algunos puntos de soldadura dado en los cortes más abiertos.



Figura 2.20 Puntos de soldadura en los cortes.



Figura 2.21 Resultado del doblado del arco mayor

Tras numerosas iteraciones de doblado y soldado, el resultado del giro completo en el arco mayor se muestra en la figura 2.21, donde aún no se han soldado por completo los cortes dados en las alas de la viga.



Figura 2.22 Radial para aumentar los cortes.

A continuación, se dobló la parte restante en sentido contrario. Como se mencionó anteriormente, ese plegado se ve favorecido por el cierre progresivo de los cortes pero limitado por el mismo cierre del corte. Por ello, conjunto al doblado del arco más pequeño, se ha empleado una radial para abrir los cortes. Quitar en vez de poner material, justo lo contrario al doblado anterior.

En la figura 2.22 se puede ver el uso de la radial para ampliar los cortes, que fueron realizados previamente de la tronzadora.

Del mismo modo, para sellar los cortes, una vez otorgada la forma requerida por la estructura, se ha utilizado el equipo de soldadura.

De nuevo se llevo la estructura a la máquina tronzadora para eliminar el sobrante de viga que quedó en el extremo recién doblado.

Una vez finalizadas las tarea de doblado, se marcó a rotulador el punto donde se situaría el orificio por el que transcurriría el tornillo del sistema de sujeción. Se llevo la estructura en arco a la máquina taladradora, en donde se agarró con la prensilla y se procedió a taladrar como se puede ver en la figura 2.23.



Figura 2.23 Taladrado de orificio para tornillo M20.

Fabricación. Estructura de la máquina

En las figuras 2.24 y 2.25 aparecen la estructura, una vez completada la soldadura de los cortes iniciales y después de una operación de lijado de las caras laterales, respectivamente.



Figura 2.24 Estructura soldada por completo.



Figura 2.25 Lijado con radial de la estructura.

Llegado a este punto, se fijo la estructura con una mordaza y se observó que aplicando una fuerza vertical en el extremo superior de la misma y liberándola, comenzaba a oscilar levemente en esa dirección. Aunque ese movimiento disminuyera mucho una vez terminado el soldado de la viga, seguía siendo lo suficientemente representativo, como para implementar una solución que lo minimizara aún más.

Desde un primer momento, se sopesó la necesidad de reforzar la estructura, como se mencionó en el apartado 2.2, dado que el diseño original contemplaba un perfil diferente, con mayores espesores y, sobre todo, con un ala de 60 mm de anchura, dimensión que duplica a las dos alas del perfil U utilizado. Por todo ello, se decidió reforzar el arco mayor, donde más flectaba, con un nervio en forma de luna, siendo su anchura máxima de 90 mm, situándose en el punto más crítico. Este nervio o refuerzo se dibujó en una chapa de acero de unos 2 mm de espesor, como se puede apreciar en la figura 2.26 y se cortó con una sierra de calar, figura 2.27.



Figura 2.26 Dibujo del refuerzo.



Figura 2.27 Corte con sierra de calar del nervio.

Se soldó la luna en la parte central del alma del perfil y se realizaron tareas de lijado, con una radial, en el borde de unión de ambas partes, como se puede ver en la figura 2.28.

Fabricación. Estructura de la máquina

Se prosiguió con tareas de acabado. Se lijo con papel de lija parte del óxido presente en el estructura, preparando la estructura para ser pintada. Y finalmente se pintó para protegerla del ambiente. En la figura 2.29, se puede observar la estructura en arco con la primera capa de pintura.



Figura 2.28 Estructura con refuerzo soldado.



Figura 2.29 Pintado de la estructura.

No obstante, necesitó más capas de pinturas pero se realizaron cuando se terminaron las operaciones de soldadura de alguna piezas unidas a esta estructura.

2.3.2 Casquillo porta tornillo

Como se mencionó anteriormente, el casquillo porta tornillo es un elemento compuesto por un tubo y dos tuercas. Para la fabricación de este elemento se utilizó un tubo metálico de $\varnothing 40$ mm con un espesor de 3 mm y dos tuercas de M20.

Se llevó a cortar el tubo con la medida seleccionada a la máquina tronzadora, figura 2.30, y se soldó una de las tuercas a la parte superior del casquillo, figura 2.31.



Figura 2.30 Tronzado del tubo metálico.



Figura 2.31 Casquillo con tuerca superior soldada.

Se introdujo el casquillo en el torno para refrentar la cara soldada. En la imagen que se muestra en la figura 2.32.

El siguiente paso consistió en la soldadura del casquillo porta tornillo a la estructura en arco. Para realizar la operación, primero se soldó la tuerca inferior centrada encima del orificio. Se colocó el casquillo sobre la tuerca soldada, roscando el tornillo en ambas tuercas, para centrar y ubicar el casquillo.

Finalmente se soldó el propio casquillo al arco y a la tuerca, confinándola. En la figura 2.33, se puede observar el conjunto una vez terminadas las tareas de soldadura.



Figura 2.32 Refrentado de la cara soldada.



Figura 2.33 Conjunto casquillo tornillo estructura.

2.3.3 Tornillo con volante

En la figura 2.33, se puede ver el tornillo M20 que se halló en el taller y que se ha empleado en el sistema de sujeción de chapas, ya introducido en su casquillo. Por otro lado, en la figura 2.34 se muestra el disco que funcionará de volante para girar el tornillo.

El volante se llevó al torno. Se le realizaron operaciones de cilindrado, para limpiar la superficie de agarre, y moleteado, para mejorar esta superficie, mejorando su acabado. En las figuras 2.35 y 2.36, se puede observar ambas operaciones. respectivamente.



Figura 2.34 Disco empleado como volante.



Figura 2.35 Cilindrado del volante.



Figura 2.36 Moleteado del volante.

En la taladradora, se realizó un orificio al disco, con el objetivo de poder añadirle una pequeña manivela si se requiriese. Por ello se taladró el orificio y se emplearon machos de roscar de M8, como se puede ver en la figura 2.37.



Figura 2.37 Roscado con machos de roscar de M8.

Ya preparado el disco, se procedió con su soldadura al tornillo. Previamente se protegió el tornillo con un casquillo para que no sufriera ningún desperfecto con durante la operación.

En la figura 2.38, se puede ver el conjunto tornillo volante ya soldado.

El conjunto se extrajo del casquillo porta tornillo y se llevó al torno para refrentar la superficie soldada, figura 2.39.



Figura 2.38 Soldado entre volante y tornillo.



Figura 2.39 Refrentado de la soldadura.

En el mismo torno, se dispuso el tornillo para mecanizar el ajuste en el que se introduciría el rodamiento cónico 30203 F. El ajuste de eje que se seleccionó en el diseño original fue:

$$17j6 \begin{pmatrix} +0,008 \\ -0,003 \end{pmatrix} = \begin{matrix} 17,008 \text{ mm} \\ 16,997 \text{ mm} \end{matrix}$$

Se cilindró 14 mm del tornillo con ese ajuste. Se ha empleado un micrómetro para comprobar, durante la operación, la aproximación a las medidas requeridas, a cada pasada del cilindrado, hasta situar el eje en el intervalo de tolerancia.

En la figura 2.40 se puede observar el tornillo ya con el ajuste, mientras está siendo taladrado para albergar el tornillo “tirante” que se mencionó en el apartado 2.2, usado para unir el rodamiento con su pista.

Para terminar las operaciones llevadas a cabo en el tornillo con volante, después del taladrado, se le hizo su rosca interna con machos de roscar de M4.



Figura 2.40 Taladrado del orificio para el “tirante”.

2.3.4 Alojamiento del rodamiento cónico inferior

Se partió de una viga de sección cuadrada de 50x50 mm² de acero estructural. En una maquina tronzadora, se cortó un bloque de 30 mm de longitud, como se puede apreciar en la figura 2.41.



Figura 2.41 Tronzado de viga de sección cuadrada.

El ajuste de agujero que se eligió para esta pieza en el diseño original fue un 40E8, pero buscando un apriete mayor, se cambió por un 40M7, el mismo que se seleccionó para el plato superior.

$$40M7 \begin{pmatrix} 0,000 \\ -0,025 \end{pmatrix} = \begin{matrix} 40,000 \text{ mm} \\ 39,975 \text{ mm} \end{matrix}$$

Por lo que se fabricó un calibre pasa-no-pasa en un eje con ese ajuste, el cual se podría usar tanto para la comprobación del orificio de esta pieza como para el orificio alojamiento del plato superior.

Se llevó el eje al torno donde se realizó el cilindrado del ajuste, de la misma forma que con el tornillo, usando el micrómetro tras cada pasada. En la figura 2.42 se puede observar la zona con el ajuste pasa-no-pasa, de mayor brillo.

Una vez fabricado el calibre pasa-no-pasa, se colocó el bloque cuadrado en las abrazaderas del torno para ser mecanizado. Se refrentó la cara externa del bloque, limpiando la superficie y otorgándole planicidad.



Figura 2.42 Calibre pasa-no-pasa.



Figura 2.43 Refrentado del paralelepípedo.

Se cilindró la superficie lateral dejando una base con sección cuadrada. Se punteó en el centro de la superficie con una broca de punto, para facilitar la entrada del taladro.



Se taladró con una broca de $\varnothing 30$ mm un orificio de 14 mm de longitud, superior a la anchura del rodamiento, 13,25 mm.

Se realizó un barrenado o cilindrado interior, para aumentar la cavidad del agujero cuidando no superar las dimensiones del ajuste. Se comprobó con el calibre pasa no pasa, la idoneidad del ajuste del alojamiento.

De la figura 2.43 a la 2.46 se pueden ver las diferentes operaciones y el resultado.



Figura 2.45 Barrenado del ajuste.



Figura 2.46 Resultado de las operaciones.

La pieza se traslado y fijó en la prensilla de la fresadora, para realizar 4 taladros pasantes en sus esquinas. Por estos taladros pasarían tornillos de M4 que roscarían en una pletina, que se situaría soldada sobre la estructura, como ya se comentó anteriormente. En las figuras 2.47 y 2.48 se pueden ver respectivamente, la pieza situada para las operaciones de punteo previo al taladrado, así como la pletina. Posteriormente, la pletina se roscaría con machos de roscar.



Figura 2.47 Punteo de la pieza alojamiento, para taladrar los cuatro orificios pasantes.



Figura 2.48 Punteo de la pletina para taladrar los orificios roscados con machos de M4.

Por último se llevaron a cabo operaciones de acabado, como un chaflanado de la superficie cilíndrica y tareas de pintado para proteger de la oxidación.

2.3.5 Cilindro con ajuste y rosca

El elemento escogido para la realización de esta pieza, fue una barra de acero estructural de $\varnothing 30$ mm. En la máquina tronzadora se cortó una longitud de 50 mm, figura 2.49.

Se trasladó el cilindro al torno para realizarle el ajuste. Dado que el rodamiento cónico empleado en el sistema de sujeción inferior es igual al superior, se le ha otorgado el mismo ajuste:

$$17j6 \begin{pmatrix} +0,008 \\ -0,003 \end{pmatrix} = \begin{matrix} 17,008 \text{ mm} \\ 16,997 \text{ mm} \end{matrix}$$



Figura 2.49 Tronzado de barra.

Repitiendo el proceso realizado en el tornillo con volante, se fue cilindrando y a cada pasada, comprobando con el micrómetro la aproximación a las medidas exigidas. En la figura 2.50, se observa el acabado brillante del ajuste.

Antes de la operación de roscado, en el mismo torno, se dio la vuelta al cilindro y se le realizó un punteo centrado con la broca de punto y un chaflán, en el lado donde se le proporcionaría la rosca.

Se trasladó el cilindro a un nuevo torno, más moderno. Se agarró con las mordazas y ayudándose del contrapunto, se situó de manera precisa la pieza para la operación de roscado. En la figura 2.51, se puede ver la operación en cuestión.



Figura 2.50 Cilindrado del ajuste



Figura 2.51 Roscado del cilindro

2.3.6 Plato inferior

El plato inferior está compuesto por un disco de $\varnothing 50$ mm y una tuerca de M20. Para su fabricación se partió de una barra de acero estructural de $\varnothing 60$ mm. Esta se agarró en el torno, se refrentó y se cilindró la longitud requerida por el plato, figura 2.52.

Se empleó un escariador para abrir una cavidad que posteriormente fue ampliada con un barrenado. Esta cavidad serviría de alojamiento de parte de la tuerca, consiguiéndose una mayor superficie para la unión soldada de ambos elementos.



Figura 2.52 Cilindrado de la barra.

Se extrajo la barra para ser cortada en la máquina tronzadora. Después se volvió a introducir la pieza en el torno para refrentar la superficie cortada.

A continuación, desde la figura 2.53 a la 2.56 se muestran las diferentes operaciones efectuadas a la pieza y observándose también el conjunto plato-tuerca justo antes de su soldadura.



Figura 2.53 Escariado.



Figura 2.54 Tronzado.



Figura 2.55 Plato superior sin tuerca.



Figura 2.56 Plato y tuerca antes de la soldadura.

Se terminó la pieza con la soldadura del conjunto y con las tareas de limpieza de rebabas, de lijado del sobrante de la soldadura y de pintura.

2.3.7 Plato superior

Se empleó la misma barra cilíndrica usada en el plato inferior, como elemento base de esta nueva pieza.

En el plato superior, se albergará la pista del rodamiento 30203 F, rodamiento que también se introducirá en el tornillo con volante. En esta ocasión, el ajuste necesario será el mencionado en el apartado 2.3.4:

$$40M7 \left(\begin{array}{c} 0,000 \\ -0,025 \end{array} \right) = \begin{array}{c} 40,000 \text{ mm} \\ 39,975 \text{ mm} \end{array}$$

Nuevamente, se agarró el cilindro en el torno y se procedió de la misma manera que en la fabricación del alojamiento del rodamiento cónico inferior, con la inclusión de un escariador después del taladrado, para buscar una superficie interna plana, evitando la conicidad de la punta de la broca, figura 2.57.

Volviendo a enumerar las operaciones resumidamente, se cilindró a $\varnothing 50$ mm, se taladró, se escarió y se barrenó hasta conseguir las dimensiones del ajuste, empleando el mismo calibre pasa-no-pasa para la comprobación.



Figura 2.57 Escariado del plato superior.

Se trasladó la pieza a la máquina tronzadora para separarla del cilindro sobrante, volviéndose a llevar al torno para refrentar la superficie cortada.

A continuación, en el torno se taladró, con una pequeña broca, el orificio pasante por donde atravesaría el tornillo M4, que roscaría en el interior del tornillo con volante, haciendo la función de “tirante” para la unión del rodamiento cónico y su pista de rodadura.

Con la idea de embutir el tornillo dentro del plato se utilizó un escariador especial, como se puede observar en la figura 2.58. Y para terminar, se realizó un pequeño rebaje de la superficie inferior con una operación de refrentado, figura 2.59.



Figura 2.58 Taladrado para tornillo M4 embutido.



Figura 2.59 Rebaje con refrentado.

2.3.8 Torres soporte de mecanismo de corte

El material de partida usado para la fabricación de ambas torres es una viga rectangular de $100 \times 30 \text{ mm}^2$ de acero estructural.

Fabricación. Estructura de la máquina

Cada torre se compone de dos partes, por lo que se cortó en la máquina tronzadora los cuatro bloques sobredimensionados que las conforman. En la figura 2.60 se puede ver la viga colocada en la máquina tronzadora.



Figura 2.60 Tronzado de la viga.



Figura 2.61 Calibre pasa no pasa.

Los rodamientos radiales de bolas usados en el sistema de corte de la máquina son del modelo 6204 2RS. En cada uno de los cuatro bloques cortados se mecanizará el ajuste seleccionado para los rodamientos elegidos. Este ajuste es:

$$47N7 \begin{pmatrix} -0,008 \\ -0,033 \end{pmatrix} = \begin{matrix} 46,992 \text{ mm} \\ 46,967 \text{ mm} \end{matrix}$$

Previo al mecanizado de las cavidades de los rodamientos en los bloques, se fabricó un calibre pasa-no-pasa con las características del ajuste, que se puede ver en la figura 2.61.

A continuación, se agarró un bloque al torno donde se refrentaron sus caras, figura 2.62. Se hizo un punto con la broca de punto para facilitar la entrada de una broca de Ø30 mm, con la que se realizó un taladro pasante, figura 2.63.



Figura 2.62 Refrentado de los bloques.



Figura 2.63 Taladrado en los bloques.

Se barrenó el orificio, figura 2.64, ampliado su diámetro hasta 35 mm, diámetro más pequeño de la cavidad. Y se continuó el barrenado una longitud de 14 mm, anchura del rodamiento, hasta conseguir las dimensiones del ajuste 47N7, usando el calibre pasa-no-pasa para su comprobación.

Fabricación. Estructura de la máquina

El resultado de uno de los bloques se puede ver en la figura 2.65 y se siguió el mismo procedimiento con los tres restantes.

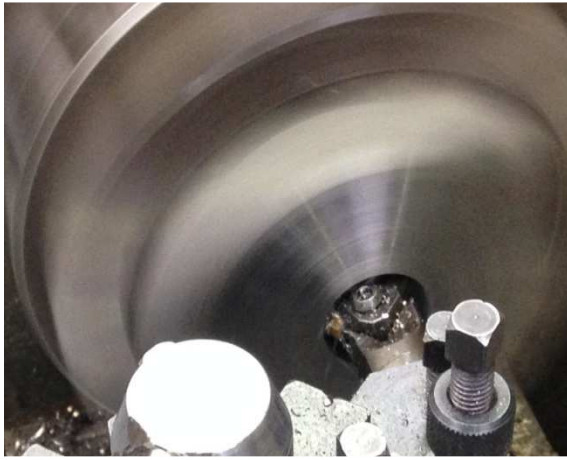


Figura 2.64 Barrenado de los bloques.

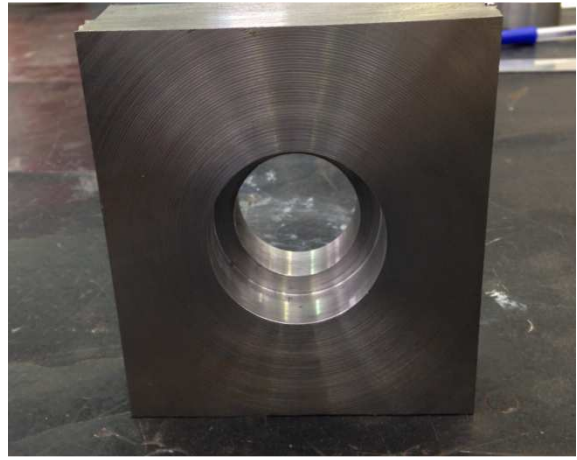


Figura 2.65 Bloque con taladro y ajuste.

Una vez terminadas las operaciones en el torno, se llevaron los bloques a la fresadora. En ella se planearon, las paredes laterales de todos los bloques.

En las partes superiores de las torres, se le realizaron unos cortes laterales, con una sierra mecánica de cinta, eliminando material y dejando espacio para el acomodo de los tornillos, que unirán la parte superior con la inferior.

Debido al mal acabado de esta operación, se planearon de nuevo las superficies laterales cortadas.

Estas operaciones se pueden ver desde la figura 2.66 a la 2.68.



Figura 2.66 Planeado de los bloques.



Figura 2.67 Cortes en sierra mecánica de cinta.



Figura 2.68 Planeado de los laterales cortados.

Fabricación. Estructura de la máquina

Por otro lado, las partes inferiores de ambas torres debían incluir los 15°, así que se ajustó en la máquina tronzadora el ángulo para el corte, se cortaron y se planearon en la fresadora, también acomodándola previamente con el mismo ángulo. Estas operaciones que se pueden ver en las figuras 2.69 y 2.70.



Figura 2.69 Tronzado en ángulo.



Figura 2.70 Planeado en ángulo.

Finalizando la fabricación de las torres, en la fresadora, con una broca de punto, se marcaron los diferentes orificios a taladrar de los cuatro bloques.

Las partes superiores se taladraron con una broca $\varnothing 8$ mm. Y las inferiores se llevaron a la taladradora, donde se taladraron y con machos de roscar M8, se roscaron. En las figuras de la 2.71 a la 2.73 se pueden observar ambas operaciones y el resultado final de todo el mecanizado realizado en las torres.



Figura 2.71 Taladrados.



Figura 2.72 Roscados.



Figura 2.73 Resultado final de las torres.

2.3.9 Base

La viga que se ha usado para la fabricación de la base de la estructura, es la misma que se empleó para la fabricación de las torres soportes del mecanismo de corte, vistas en el anterior apartado. La viga se cortó con la máquina tronzadora, como se pudo observar en la figura 2.60. A continuación, se colocó en un banco de trabajo en el cual, con papel de lija, se lijó a mano para eliminar parte de la capa óxido que tenía, mejorando la adherencia para su posterior pintado. Después se fijó con una mordaza en donde se aplicó la primera capa de pintura. Se trasladó la viga a la fresadora, se fijó con la prensilla y se taladraron con una broca $\varnothing 8$ mm los cuatro orificios pasantes, por donde transcurrirían los tornillos que roscarían en las torres. A continuación, con una fresa especial de dos diámetros, se ampliaron los taladros con el objetivo de crear el espacio para dejar embutidas las cabezas de los tornillos en el interior de la viga, figura 2.74. Y con un avellanador se realizaron chaflanes a estos orificios, figura 2.75.



Figura 2.74 Apertura de los orificios taladrados.

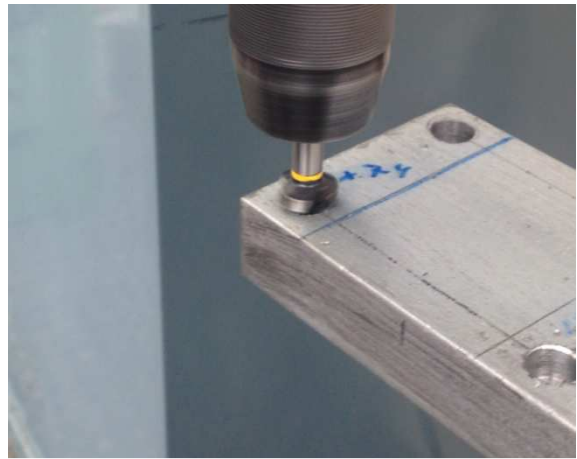


Figura 2.75 Avellanado de los orificios.

En la máquina taladradora se realizaron dos nuevos orificios, figura 2.76, que se roscarían con machos de roscar M8. Estos orificios permitirán la unión atornillada del sistema corredera a la base. Y en el otro extremo de la base, se soldó un elemento rectangular, que sería el otro apoyo del sistema corredera, figura 2.77.



Figura 2.76 Taladrados para la unión base mecanismo corredera.



Figura 2.77 Soldadura de elemento rectangular sobre base.

2.3.10 Mecanismo corredera

Es uno de los elementos que se encontraban en el taller durante la composición del diseño original, por lo que la mayoría de tareas que se realizaron sobre el mecanismo corredera, fueron de acabado.

Las barras que componen el mecanismo corredera se lijaron con una radial. Con una lima se rasgó la capa de óxido interna a las barras. Posteriormente se pintaron sus superficies exteriores.

Por la excesiva longitud de recorrido del mecanismo, se llevó a cortar a la tronzadora la barra de mayor longitud, barra fija. Se soldó un elemento de forma rectangular a la barra, figura 2.78, el cual serviría para la unión del mecanismo con la base. A ese elemento se le realizaron dos taladros pasantes. La última operación realizada en la barra fija, fue un taladro pasante en el extremo de la barra que iría unida a la viga-base.

También, en la barra corredera, se realizaron dos taladros conjunto al arco estructura, para situar los tornillos de apriete y fijación del mecanismo, figura 2.79. Se roscaron los orificios y se modificaron los tornillos acoplándoles topes de teflón, previamente mecanizados en el torno.



Figura 2.78 Elemento soldado a la barra fija.



Figura 2.79 Tornillos para la fijación de diámetro.

Por último, en la figura 2.80, se puede ver tanto la barra fija del sistema corredera como la base ya terminadas.



Figura 2.80 Barra fija del mecanismo corredera y base.

3. Mecanismo de corte

El mecanismo de corte es el elemento con mayor importancia en la máquina, ya que su correcto funcionamiento supondrá el éxito en el corte de chapas.

En los sucesivos apartados se presentará, el diseño original, estudiado y calculado por Daza [2], las modificaciones que se han realizado sobre él y la fabricación en el taller de algunas de las piezas del mecanismo de corte a partir del diseño actualizado.

3.1. Diseño original

La figura 3.1 representa el mecanismo de corte de la máquina cortadora de discos de chapa. Como se puede observar, sus partes fundamentales son, de izquierda a derecha, las cuchillas, los ejes, los rodamientos, las ruedas dentadas y la manivela. Con más detalle y de forma resumida, se van a mostrar algunas de sus características:

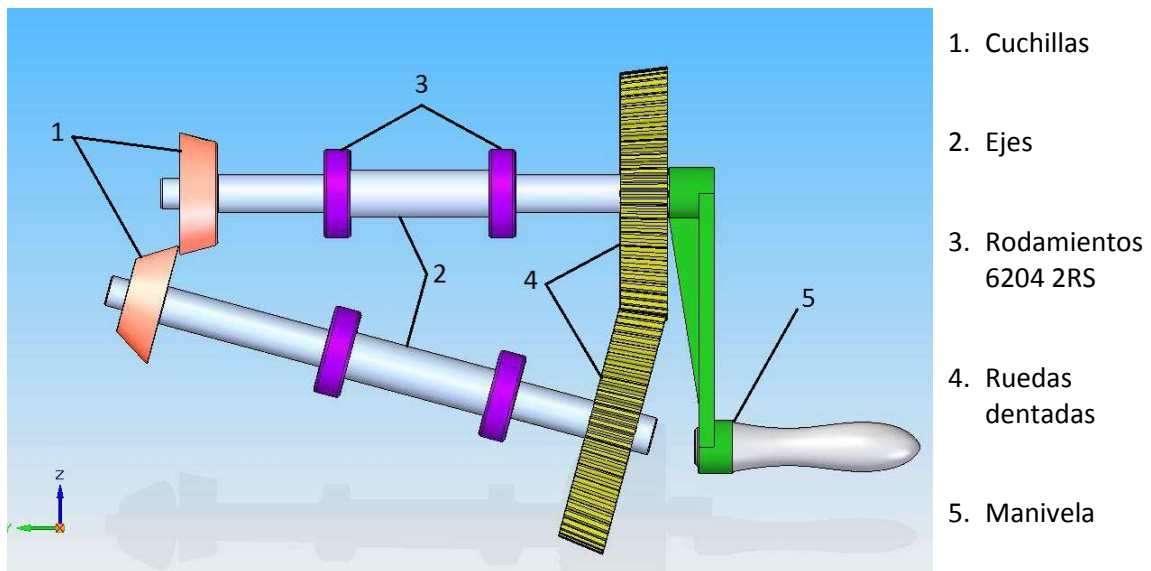


Figura 3.1 Diseño original del mecanismo de corte [2].

- Cuchillas. Son dos cuchillas circulares de $\varnothing 65$ mm, diámetro mayor, con un espesor de 20 mm. El material seleccionado fue el Acero Aleado UNE F-521, empleado generalmente para herramientas de corte de gran rendimiento y usadas en trabajos en frío.
- Ejes. Los dos ejes del mecanismo son los elementos que sustentarán a las cuchillas y los engranajes, y los guiarán en el movimiento giratorio para el corte de chapas. El material seleccionado fue el Acero al Carbón AISI C1045, empleado generalmente en partes de maquinarias. Poseen diferentes diámetros a lo largo de su longitud, para el acomodo de los elementos, así como chaveteros para el uso de chavetas en la transmisión de movimiento de las chuchillas y las ruedas dentadas.
- Rodamientos. Los cuatro rodamientos forman los elementos de unión de las torres soportes del mecanismo, con los ejes del mismo, permitiendo su giro. Los rodamientos seleccionados

son rodamientos rígidos de bolas SKF 6204-2RS. Los ajustes elegidos para su correcto apriete y funcionamiento son:

$$47N7 \begin{pmatrix} -0,008 \\ -0,033 \end{pmatrix} = \begin{matrix} 46,992 \text{ mm} \\ 46,967 \text{ mm} \end{matrix} \text{ y } 20k5 \begin{pmatrix} +0,011 \\ +0,002 \end{pmatrix} = \begin{matrix} 20,011 \text{ mm} \\ 20,002 \text{ mm} \end{matrix}$$

- Ruedas dentadas. Las ruedas dentadas tienen la función de transmitir la fuerza manual en la manivela, proporcionando el movimiento giratorio de los ejes y con ello, la fuerza necesaria a las cuchillas. La relación de transmisión es de 1, ya que se busca que ambas cuchillas giren a las mismas revoluciones durante el corte. El material seleccionado para las ruedas es el Acero C45 y el número de dientes son de 52 cada uno. La característica más singular de estos, es la selección del ángulo de 7,5° de conicidad, que suman el ángulo de 15° entre ejes, necesario para el corte.
- Manivela. Es el elemento al cual se ejercerá la fuerza manual para el funcionamiento del mecanismo. Está formado por una manivela y una empuñadura que irá roscada a esta. La manivela proporcionará el giro del eje superior con el uso de una chaveta.

También cabe mencionar, brevemente, el uso de otros elementos en el mecanismo, menos importantes pero con un peso imprescindible en su funcionamiento. Se usarán tuercas y arandelas para fijar las cuchillas en el eje, chavetas para la transmisión del giro, y arandelas de fijación para impedir el movimiento longitudinal de las ruedas engranadas.

3.2. Modificaciones del diseño

El diseño original del mecanismo de corte es la parte del estudio de la máquina con mayor responsabilidad, por su relevancia en el funcionamiento y la precisión que requiere. No obstante, el diseño original de esta parte de la máquina ha estado sujeto pequeñas modificaciones, menores que en la estructura, intentando siempre respetar el diseño o la esencia del mismo.

Como se recordó en el apartado 2.2, toda adaptación del diseño ha venido supeditada, por el aprovechamiento de los materiales del taller y a las máquinas disponibles para la fabricación de las piezas.

A continuación se van a presentar las modificaciones realizadas, pieza por pieza, al diseño original:

Cuchillas.

No han sufrido ningún cambio. Éstas fueron adquiridas durante la elaboración de los diseños de De la Rosa [1] y Daza [2], por lo que se contaban con ellas en el taller, previo al inicio del trabajo presente.

Ejes.

El diseño original de los ejes no ha sufrido grandes modificaciones, salvo el material empleado. El material de partida que se escogieron en el taller fueron unas barras de acero inoxidable cilindradas a Ø33 mm, que habían sido utilizados anteriormente para un análisis de desgaste de herramientas. Sabiendo que la resistencias de los inoxidables son muy altas y que el diámetro de los mismos eran superior al del diseño, se optó por cambiar el material a este.

Fabricación. Mecanismo de corte

Se han adaptado las longitudes de los ejes debido a la creación de unas nuevas torres soportes, diferentes a las inicialmente concebidas. La inclinación otorgada a la torre inferior para facilitar el mecanizado del ajuste del rodamiento, ha hecho inevitable esta modificación de medidas. Por otro lado, también se ha modificado el diámetro de rosca en los extremos de los ejes para la fijación de las cuchillas. Esta medida ha pasado de ser M16 a M14.

La última modificación se ha establecido exclusivamente en el eje superior, en la forma de unión y transmisión de movimiento entre la manivela y el eje. Se ha decidido cambiar el extremo del eje proporcionándole una sección cuadrada, con el objetivo de hacer más fuerte la transmisión de movimiento de un elemento al otro, en vez del uso de una chaveta. En las figuras 3.2 y 3.3 se pueden ver los ejes ya adaptados.

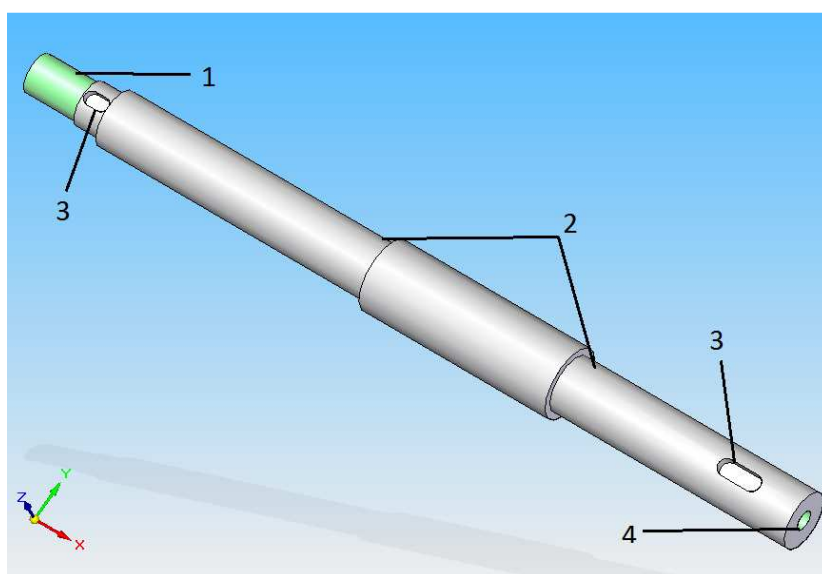


Figura 3.2 Eje inferior.

1. Zona roscada de M14
2. Zonas de ajuste para rodamientos rígidos de bolas
3. Chaveteros
4. Orificio roscado para tornillo y arandela de posicionamiento

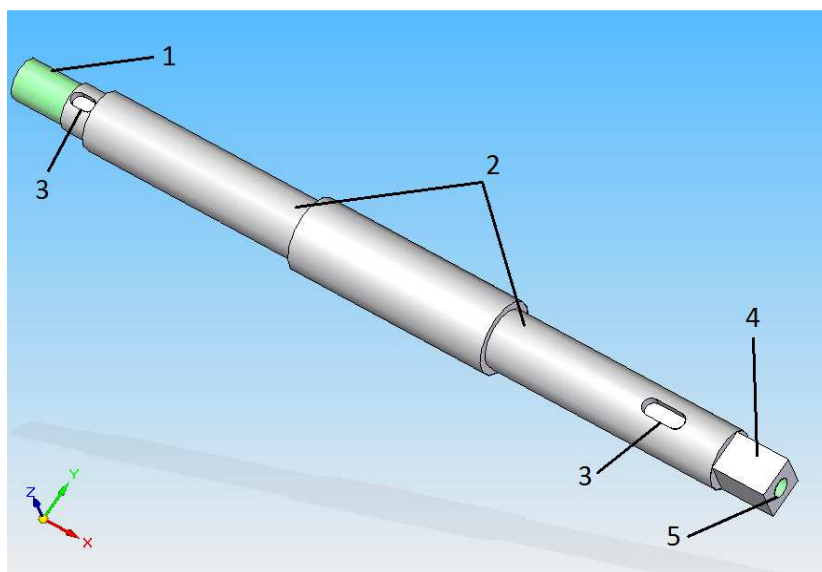


Figura 3.3 Eje superior.

1. Zona roscada de M14
2. Zonas de ajuste para rodamientos rígidos de bolas
3. Chaveteros
4. Zona de transmisión entre eje y manivela
5. Orificio roscado para tornillo y arandela de posicionamiento

Ruedas dentadas.

El ángulo peculiar de $7,5^\circ$ que necesitan las ruedas dentadas hacía imposible ir a un catálogo y ejecutar la compra de estas. También se estudió y se intentó gestionar con algunas llamadas, externalizar su fabricación a talleres de mecanizados que pudieran tallarlas en base a los planos, pero fueron infructuosas. Finalmente se valoró la viabilidad de su fabricación en el taller. En el taller no se disponía de ruedas dentadas rectas con las características de diámetro y número de dientes similar a los del diseño original, que se pudieran utilizar. No obstante, sí se disponía de un juego amplio de ruedas dentadas pertenecientes a un torno averiado y parcialmente desmontado. Entre las ruedas, una de unos $\varnothing 130$ mm próximos a los $\varnothing 135$ mm del diseño original pero con 72 dientes en lugar de 52. Como solo se podía emplear esta rueda para ser tallada, se decidió otorgarle íntegramente los 15° . De esta manera, se podría usar otra con la que engranase, ahora recta, de otro de los juegos de los tornos, mientras no se necesitara para su funcionamiento. En las figuras 3.4 y 3.5, se pueden observar los diseños de las ruedas, la superior recta y la inferior cónica con los 15° , respectivamente.

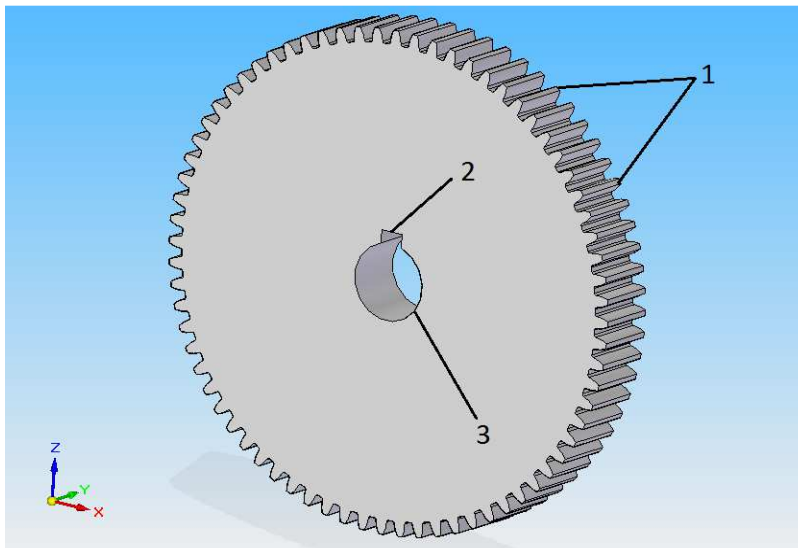


Figura 3.4 Rueda dentada superior.

1. Número de dientes 72
2. Chavetero para la transmisión entre eje y la rueda dentada
3. Orificio pasante por donde atravesará el eje

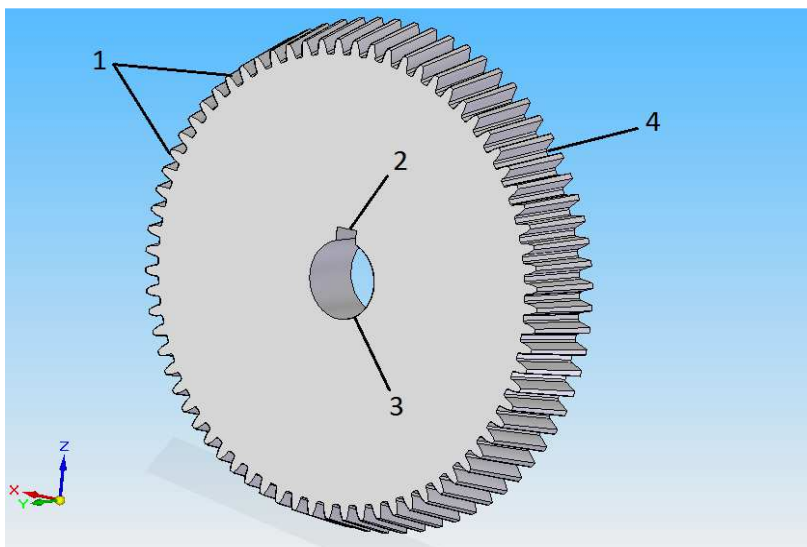


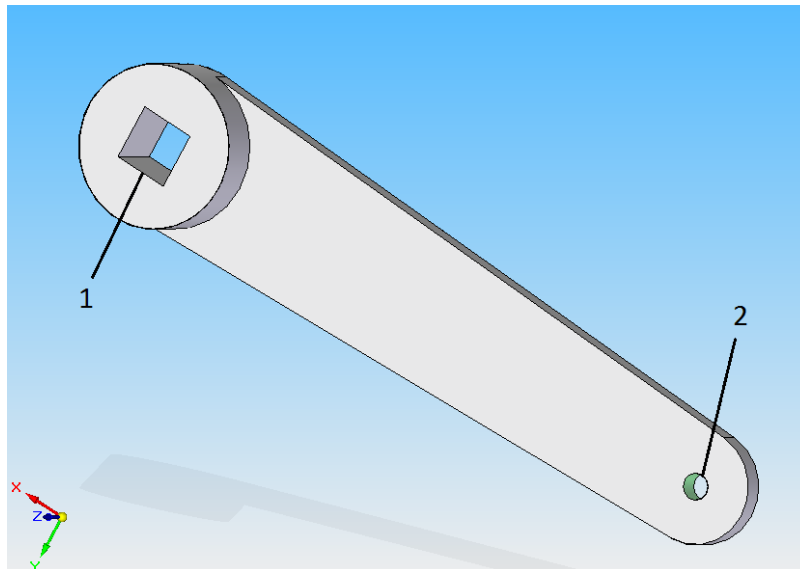
Figura 3.5 Rueda dentada inferior.

1. Número de dientes 72
2. Chavetero para la transmisión entre eje y la rueda dentada
3. Orificio pasante por donde atravesará el eje
4. Conicidad de 15°

Manivela.

El diseño original de la manivela se modificó para la nueva transmisión entre el eje y la manivela. Por lo que esta contará con una cavidad de sección cuadrada que se introduzca en el eje. El material de partida encontrado para su fabricación fue una pletina de 6 mm de espesor.

En el otro extremo contará con un orificio en el que estará situado un tornillo con mango de teflón y una tuerca para su fijación. El mango no aparece en el diseño que se puede ver en la 3.6, pero sí la manivela y sus orificios.



1. Orificio de sección cuadrada para la transmisión entre eje y manivela

2. Orificio para tornillo y mango

Figura 3.6 Manivela.

Otros elementos.

Se utilizarán diferentes piezas para la sujeción de las cuchillas y ruedas dentadas engranadas a los ejes impidiendo sus desplazamientos longitudinales sobre estos.

En el diseño original se contemplaban tuercas y arandelas para afianzar las cuchillas por su lado externo, impidiéndose el movimiento por el otro lado con el cambio de diámetro en el eje. En la nueva disposición se han creado casquillos que proporcionan una mayor superficie de contacto para las cuchillas a la par que ajustan la holgura entre ambas, muy importante para el corte.

También se han utilizado casquillos anillados al eje para la sujeción de las ruedas dentadas, en vez de arandelas de fijación. Todo queda apoyado en el final del eje por una arandela y un tornillo que se sitúan en los otros extremos de los ejes.

3.3. Fabricación

El paso siguiente al estudio del diseño original y las modificaciones del mismo, es la fabricación de las diferentes piezas del mecanismo de corte de la máquina.

A continuación, se van ilustrar con explicaciones e imágenes, las tareas y operaciones realizadas en el taller para la fabricación de las piezas antes expuestas.

El orden en el que se presentará cada pieza será el seguido cronológicamente en el taller. También cabe mencionar, que se realizaron numerosas tareas en paralelo en el tiempo, por lo que generalmente, no se fabricaron las piezas de manera consecutiva.

En la figura 3.7 se puede ver una primera composición las piezas empleadas en el mecanismo de corte, aún incompleta.



Figura 3.7 Piezas del mecanismo de corte.

3.3.1 Ejes

El material de partida para ambos ejes son dos barras de acero inoxidable de 33 mm de diámetro. En la figura 3.8 se pueden ver las dos barras previamente a las operaciones de mecanizado.

Se llevó el eje al torno, agarrándose con las mordazas y fijándose con el contrapunto, figura 3.9, aprovechando las facilidades que proporcionaban unas barras anteriormente torneadas.



Figura 3.8 Ejes de acero inoxidable.



Figura 3.9 Eje en el torno.

Se procedió a cilindrar la barra entera a $\varnothing 25$ mm, diámetro mayor del eje. Se continuó por la siguiente sección del eje, cilindrando a $\varnothing 20$ mm, buscando el ajuste 20k5 en una longitud de 14 mm desde el escalón con el mayor diámetro. Se actuó de la misma forma que en los ajustes de ejes anteriormente mecanizados, usando el micrómetro en cada pasada para la comprobación.

Los dos últimos cilindrados de esta parte del eje se realizaron a $\varnothing 16$ mm y a $\varnothing 14$ mm, siendo el primero el lugar donde se situaría la cuchilla y el segundo donde se roscaría con M14. En la figura 3.11 se pueden ver los escalones con diferentes diámetros, apreciándose en el primero, el ajuste realizado para el rodamiento de bolas. Para realizar la rosca del extremo de los ejes, se empleó una terraja de M14 paso 1,5.

Fabricación. Mecanismo de corte

Una vez realizadas las operaciones de mecanizado por un extremo, se extrajo el eje del torno. Se llevó el eje a una maquina tronzadora para cortar parte de barra sobrante. Se volvió a situar en el torno para refrentar la superficie cortada, puntearla con una broca de punto y se mecanizó el ajuste 20k5 en el otro lado de la barra. Las diferentes operaciones de mecanizado realizadas y el resultado de esta se pueden observar en las figuras de la 3.10 a la 3.13.

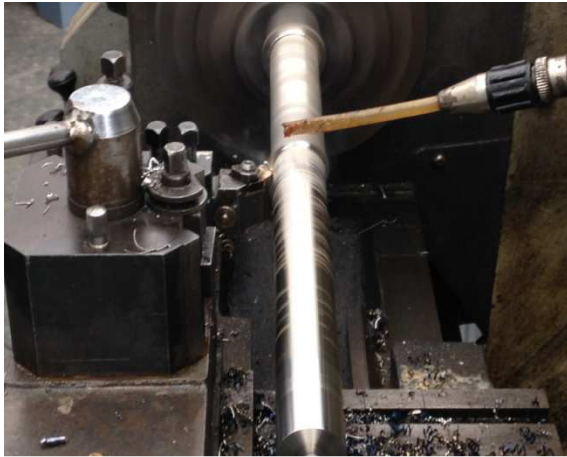


Figura 3.10 Cilindrado del eje.



Figura 3.11 Cilindrado en diferentes diámetros.



Figura 3.12 Aterrajado del eje.



Figura 3.13 Eje después de torneado.

Se repitieron las operaciones para el otro eje con sus longitudes correspondientes. Se trasladaron los ejes a la fresadora. Previamente, en la fresadora se había situado el divisor universal para el tallado del engranaje, que se verá en el siguiente apartado. En su mordaza se agarró el eje y por el otro lado se colocó un contrapunto para terminar de ajustar y alinearlos, figura 3.14.

Con una pequeña fresa se realizaron dos chaveteros en las posiciones donde se encontrarían la cuchilla y el engranaje respectivamente, figura 3.15.

El uso del divisor universal, tenía especial relevancia en el mecanizado con sección cuadrada del eje superior, ya que con él se puede establecer el giro de 90° para las repetitivas pasadas de la fresa para otorgarle esa sección. En la figura 3.16 se puede ver dicho mecanizado y en la figura 3.17 se observa el tronzado definitivo del resto de eje sobrante.



Figura 3.14 Colocación del eje en la fresa.



Figura 3.15 Fresado de los chaveteros.



Figura 3.16 Fresado de la superficie cuadrangular.



Figura 3.17 Tronzado de la parte sobrante del eje.

Las últimas operaciones realizadas en los ejes son las relativas al orificio roscado en los extremos. Por ello, se volvieron a colocar los ejes en el torno para ser taladrados y roscados, como se ven en las figuras 3.18 y 3.19.



Figura 3.18 Taladrado del orificio para el posicionamiento de elementos en el eje.



Figura 3.19 Roscado del orificio para el posicionamiento de elementos en el eje.

3.3.2 Ruedas dentadas

Las características más reseñables de las dos ruedas utilizadas en el mecanismo de corte son, (número de dientes: 72, diámetro primitivo: 126 mm, módulo: 1,75 mm, anchura: 16 mm y diámetro interior: 20 mm).

En la figura 3.20 se puede ver uno de las ruedas dentadas usadas.

Solo se mecanizará la rueda inferior, como se mencionó en el apartado 3.2, con el fin de proporcionarle la conicidad de 15°.

Se consultaron las relaciones necesarias para tallar la rueda en un manual del taller, A.L.Casillas [3]. Se buscó un fresa madre con módulo 1,75 para los 72 dientes, no hallándose en el taller, pero si se encontró una fresa de módulo apropiada.

Previo al tallado en la fresadora, se llevó la rueda al torno para cilindrarlo con el ángulo correspondiente, figura 3.21.

Se preparó la fresadora colocando el divisor universal sobre la mesa y el eje de giro con la fresa de módulo. En la figuras 3.22 se muestra la rueda dentada, ya con el ángulo, agarrada en el divisor universal y en la figura 3.23 se ve la disposición entre casquillos de la fresa de módulo.



Figura 3.20 Rueda dentada empleada.



Figura 3.21 Torneado previo con ángulo de 15°.



Figura 3.22 Colocación de engranaje para tallado.



Figura 3.23 Disposición de fresa módulo.

Se calculó la relación necesaria del plato divisor con el número de dientes (10/18), para tener el giro equivalente a un diente y así poder tallar diente a diente la rueda. Por último, preparada la fresadora, se mecanizó la rueda. En la figura 3.24 se muestra una de las pasadas de la fresa de módulo tallando la rueda inferior y en la figura 3.25 se muestran el engranaje de las ruedas, con la inferior ya mecanizada.

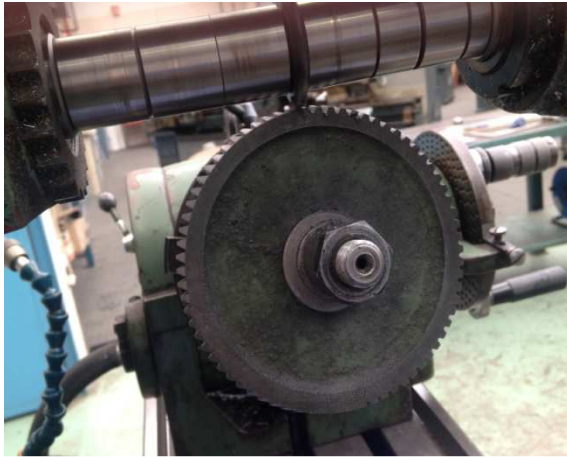


Figura 3.24 Tallado de la rueda inferior.



Figura 3.25 Engranaje.

3.3.3 Chavetas

El material de partida para su fabricación fue una lámina de acero de 6 mm de espesor, también usada para la manivela. En la máquina tronzadora se cortaron cuatro pequeños trozos de la lámina, como se ven en la figura 3.26.

Después se llevaron a la fresadora, donde se colocaron para ser planeadas, figura 3.27 y con una fresa para redondear, se les dio la curvatura, figura 3.28. Finalmente, se limaron con una lima fina de mano.



Figura 3.26 Chavetas antes de ser mecanizadas.



Figura 3.27 Planeado de chavetas.



Figura 3.28 Redondeado de chavetas.

3.3.4 Manivela

En la fabricación de la manivela se utilizó una lámina de acero de 6 mm de espesor, la cual se cortó con la tronadora en tres partes. La principal, con una longitud levemente superior a la de la manivela y las otras dos, que servirían para aumentar el espesor de la zona de unión con el eje superior.

Se trasladaron cada una de las partes a una cizalladora universal. En ella, se le realizó el punzonado de sección cuadrada, figura 3.29, necesario para la transmisión de movimiento con el eje superior. En la figura 3.30 se puede ver el resultado.



Figura 3.29 Punzonado.



Figura 3.30 Resultado del punzonado.

Se llevaron las dos partes de menor tamaño para cilindrarlas en el torno. Para realizar el mecanizado se situaron en un casquillo como se ve en la figura 3.31. En la parte de mayor tamaño se trazó el perfil de la manivela y se llevó a la taladradora donde se taladró, figura 3.32.



Figura 3.31 Cilindrado de elementos de la manivela.



Figura 3.32 Taladrado de orificio para tornillo y mango.

Para el mango, se buscó un tornillo de una longitud apropiada y un cilindro de teflón que fuera el agarre del mango. En la figura 3.33 se puede ver el tornillo con la manivela antes de ser mecanizada. Al cilindro de teflón se le dio forma en el torno con un taladrado y un cilindrado en ángulo, figura 3.34.

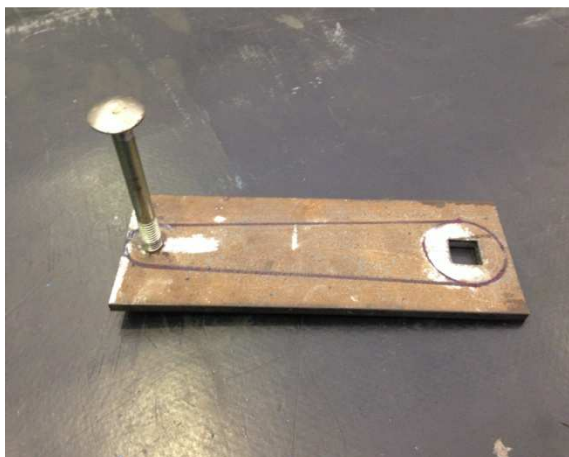


Figura 3.33 Manivela con tornillo.

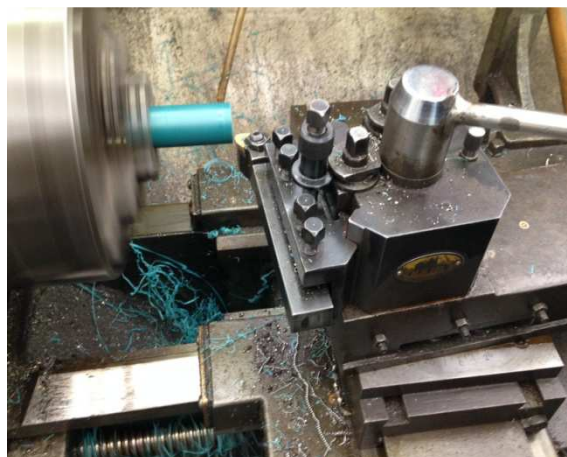


Figura 3.34 Mecanizado del mango de teflón.

Se trasladó la manivela y se fijó con la prensilla en la fresadora. Se planearon las superficies laterales, figura 3.35. Los redondeos se realizaron de manera aproximada, lijándolos con la radial.

Finalizando las operaciones en la manivela, se utilizó una varilla de sección cuadrada en donde se situaron las tres partes de la lámina ya mecanizadas para proceder con su soldadura, figura 3.36.



Figura 3.36 Planeado de la manivela.



Figura 3.37 Soldado de la manivela.

Por último, se realizaron tareas de acabado como el lijado de la soldadura y el pintado de protección contra la oxidación.

4. Montaje

La máquina fabricada ha sido adaptada a partir del diseño original, entre otros motivos antes detallados, para facilitar las tareas de montaje y permitir el cambio de algunos elementos en caso de daño, fallo o avería. Cabe destacar nuevamente, que el montaje de la máquina ha sido progresivo y coincidente en tiempo con algunos de los procesos de fabricación y de acabado de las diferentes piezas. A continuación, se van a presentar e ilustrar con imágenes el montaje de las partes que componen la máquina y el montaje final de la máquina completa.

4.1 Rodamientos



Figura 4.1 Pista de rodadura en alojamiento.



Figura 4.3 Rodamiento radial en su ajuste.

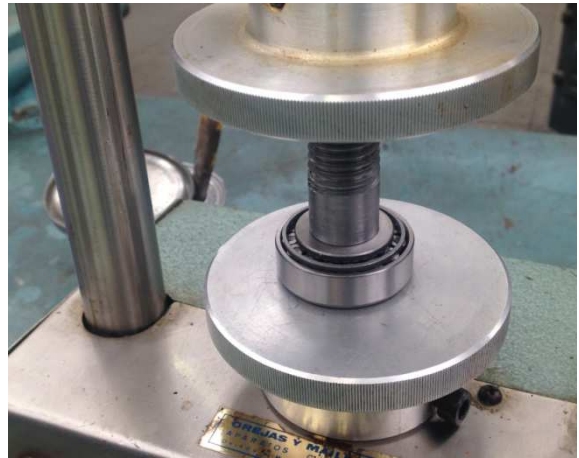


Figura 4.2 Cilindro con ajuste y rosca en rodamiento

Los rodamientos empleados en el sistema de sujeción de chapas son dos cónicos 30203 F. Para su montaje se ha empleado una máquina de fuerza a presión. En la figura 4.1 se puede observar la máquina mientras es introducida la pista de rodadura en el alojamiento del rodamiento inferior. Por otro lado en la figura 4.2 se observa cómo se introduce a presión el cilindro con ajuste y rosca dentro del rodamiento inferior. Del mismo modo, se han colocado la pista de rodadura y el rodamiento superior, en el plato superior y en el tornillo con volante, respectivamente. Utilizando la misma máquina, se han introducido los cuatro rodamientos radiales 6204 2RS del mecanismo de corte, con apriete, en los ajustes mecanizados en las torres, viéndose el resultado en la figura 4.3.

4.2. Estructura y sistema de sujeción

Las partes que intervienen en el montaje del sistema de sujeción con la estructura se muestran en la figura 4.4. Se ve como ya se ha ajustado el rodamiento axial en la parte inferior del tornillo, una vez éste introducido en el casquillo. Se ha optado por colocar una tuerca en la parte de unión del tornillo con el volante con la idea de poder extraer el rodamiento con el simple uso de una llave, al ser empujado hacia abajo por la propia estructura. Se puede observar también la pletina soldada al a la estructura en arco donde se roscará el alojamiento del rodamiento cónico inferior.

En la figura 4.5 se puede ver tornillo M4 que funciona de tirante, roscado en el interior del tornillo M20, que sujetará el plato superior con la pista de rodadura en su interior, para que permita el correcto funcionamiento del rodamiento. A su lado el sistema de sujeción inferior a falta de ser roscado. En la figura 4.6 se ve la disposición final del sistema de sujeción en la estructura.



Figura 4.4 Piezas del sistema de sujeción junto a la estructura.



Figura 4.5 Sistema de sujeción a falta de fijación.



Figura 4.6 Sistema de sujeción montado.

4.3. Estructura, mecanismo corredera y base

El montaje del mecanismo corredera a la estructura se realizó mediante una unión por soldadura, de la barra de sección cuadrada hueca superior a la parte inferior del arco estructura. En las figuras 4.7 y 4.8, se pueden ver los puntos de soldadura dados.



Figura 4.7 Soldadura de la barra corredera al extremo de la estructura.



Figura 4.8 Soldadura de la barra corredera a la estructura a través de una pequeña pletina.

El montaje del sistema corredera con la base de la máquina se realizó mediante el uso de dos paralelepípedos rectangulares, uno soldado en un extremo de la base y otro en un extremo de la barra fija, como se vieron en las figuras 2.77 y 2.78, respectivamente. En ambos paralelepípedos se realizaron taladros, siendo roscado el de la base con rosca M8. La figura 4.9 muestra las partes preparadas para el montaje. Se procede introduciendo la barra de sección cuadrada fija dentro de la barra corredera y se coloca el conjunto para ser atornillado a la base.

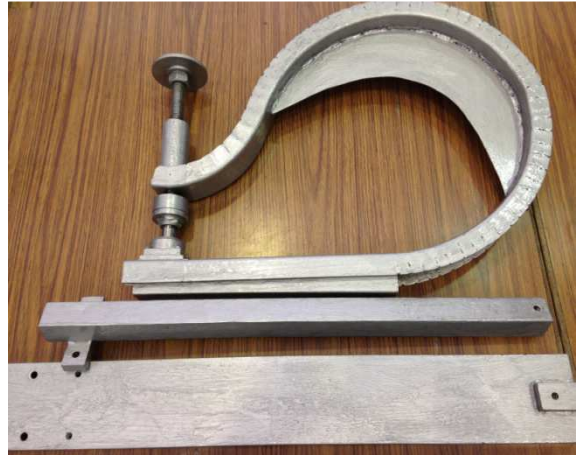


Figura 4.9 Estructura, mecanismo corredera y base.

Para ello se usan tres tornillos M8 como se puede apreciar en las figuras 4.10 y 4.11.



Figura 4.10 Fijación de la parte delantera del mecanismo corredera a la base.



Figura 4.11 Fijación de la parte trasera del mecanismo corredera a la base.

4.4. Mecanismo de corte

Una vez introducidos los rodamientos radiales en las torres, apartado 4.1, se procede con la introducción de los ejes del mecanismo de corte en estos rodamientos. Para el montaje del siguiente conjunto se emplea un gato como se puede observar en las figuras 4.12 y 4.13. De la misma forma, se llevó a cabo el montaje del eje inferior con los rodamientos situados en las partes inferiores de las torres.



Figura 4.12 Introducción de eje superior en rodamiento radial.



Figura 4.13 Introducción de eje superior en el otro rodamiento radial.



Figura 4.14 Unión atornillada entre base y torres.

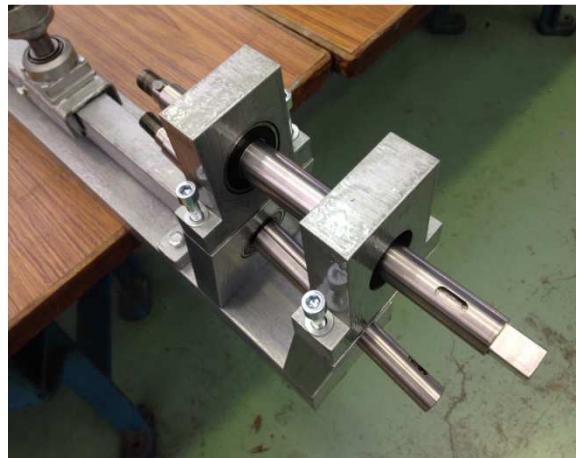


Figura 4.15 Unión atornillada entre partes de torres.

En las figuras 4.14 y 4.15 se muestra la unión atornillada entre la base de la estructura y las partes inferiores de las torres, y entre las partes inferiores y superiores de las torres, respectivamente.

El mecanismo de corte cuenta con numerosos elementos, entre ellos algunos de los más importantes como lo son las cuchillas y los engranajes. En la siguiente figura, 4.16, se muestran gran parte de los elementos que intervienen en su montaje.

Montaje

El orden de montaje será el siguiente: En primer lugar se sitúan los casquillos de posicionamiento de los engranajes y de las cuchillas. En segundo, se colocan las chavetas en sus chaveteros. En tercer lugar, se introducen los engranajes y las cuchillas acomodándolos con sus chavetas para una correcta transmisión de movimiento. A continuación, por el lado de las cuchillas, se usan arandelas de presión y tuercas para su fijación y por el lado de los engranajes, se usan otros casquillos que sirvan de ajuste y colocación sin apriete de los engranajes.



Figura 4.16 Elementos del mecanismo de corte.

Para terminar, en el eje superior se coloca la manivela con su orificio de sección cuadrada hasta topar con el casquillo y por último se coloca una arandela y un tornillo roscando en el eje para sostener todos los elementos dispuestos en esta parte, y en el eje inferior simplemente se coloca la arandela y el tornillo detrás del último casquillo para el mismo cometido que en el eje superior.

La máquina cortadora de discos de chapas una vez terminado el montaje de sus diferentes partes se muestra en la figura 4.19, a continuación:



Figura 4.17 Máquina cortadora de discos de chapas ya montada.

5. Elementos auxiliares

Este apartado hará referencia a dos partes importantes de la máquina que no se evaluaron en el diseño original y que han sido añadidas a la máquina con el objetivo de mejorarla. Con ambos elementos, se pretenden atender a aspectos tan importantes como el de la seguridad, por un lado, así como el refuerzo de la rigidez de la estructura durante su funcionamiento estableciendo también el sistema de medición correspondiente para el corte de discos de chapas.

5.1. Carcasa protectora



Figura 5.1 Carcasa galvanizada.

Se ha decidido fabricar una carcasa protectora que estará situada cubriendo los engranajes. Su objetivo principal es salvaguardar la integridad del operario evitando posibles atrapamientos.

Para ello, se ha empleado una carcasa galvanizada reciclada del taller. En la figura 5.1, arriba, se puede ver la carcasa empleada. Se le han realizado varias operaciones de mecanizado. En la figura 5.2 se ve la carcasa en la taladradora, para realizarle los dos orificios por donde pasarán los ejes.

También se han llevado a cabo con mordazas y alicates, numerosos plegados para otorgarle la forma adecuada y poderla acomodar a la máquina sin que interfiera en su correcto funcionamiento. En la figura 5.3, se puede ver el resultado de los plegados de la carcasa.



Figura 5.2 Taladrados de la carcasa.



Figura 5.3 Carcasa plegada.

Elemento auxiliares

Por otro lado, con la idea de que los engranajes no quedaran ocultos tras la carcasa y se pudieran observar durante su funcionamiento, se ha optado por usar en los laterales, dos láminas cortadas de policarbonato transparentes.

En la figura 5.4 se muestra la carcasa con las láminas de policarbonato en el lateral.

Se han cortado dos laminas del sobrante de carcasa y se han plegado en forma de “L” para poder cerrar por completo la carcasa protectora de los engranajes.

Para su colocación en la estructura y la unión de sus partes, se han empleados tornillos autoperforantes y una taladradora manual, figura 5.5.

Cabe mencionar que el posicionamiento de la carcasa en los ejes se ha realizado con el mismo sistema de casquillos de posicionamiento empleado ya en los ejes.

En las figuras 5.6 y 5.7 se ven distintas perspectivas de la carcasa protectora.



Figura 5.4 Carcasa con laterales de policarbonato.



Figura 5.5 Montaje de la carcasa protectora.



Figura 5.6 Perspectiva de la carcasa protectora.



Figura 5.7 Lateral de la carcasa protectora.

5.2. Sistema de posicionamiento lateral y selección de radio de chapa

La justificación que explica la fabricación e incorporación de este sistema a la máquina, viene supeditada a los primeros ensayos de corte de chapa realizados con la misma. Se podía apreciar durante el corte que se producía un desplazamiento de la chapa en la zona de agarre con los platos. Ese desplazamiento podía llegar a provocar un pequeño movimiento lateral del arco-estructura, desviando el sistema de sujeción de chapas, no ofreciendo un correcto funcionamiento.

Con el objetivo de limitar ese movimiento estructural se ideó el sistema de posicionamiento lateral. Consistía en el uso de una varilla metálica horizontal soportada por dos casquillos soldados a las torres y una caja con forma de “U” soldada a la estructura, con un tornillo de apriete para inmovilizar la estructura con la varilla en el momento de corte.

Aprovechando el uso de una varilla horizontal que abarca el rango de radios de chapa a cortar, su labor no solo será la de aportar rigidez lateral, sino que se le dotará de una escala graduada que sirva de sistema de medición en la máquina. A continuación se enunciarán los procesos de fabricación llevados a cabo y se ilustrará con imágenes, su forma y funcionamiento:

Primero se han escogido para la fabricación de los casquillos, retales de los ejes de acero inoxidable y se han cortado en la tronzadora. Después se llevaron al torno para cilindrarlos, taladrarlos y barrenarlos. El orificio que se les ha realizado a los casquillos ha sido de $\varnothing 13$ mm, ya que la varilla de acero inoxidable seleccionada posee ese diámetro.

Posteriormente estos casquillos se han trasladado a la fresadora para planearlos en un lateral con el objetivo de otorgarles una buena superficie para la posterior soldadura. Para terminar las operaciones en los casquillos, se ha taladrado un orificio en cada uno, perpendicular a la superficie planeada, en los que se situarán tornillos de apriete para fijar la varilla, y se han roscado con machos de roscar de M6. Por otro lado, a la varilla se le han realizado dos pequeños planeados en las posición donde será fijada por los tornillos. En las figuras 5.8 y 5.9, se pueden observar la varilla con los dos casquillos, sus planeados y los tornillos de M6 de fijación, y donde se situarán soldados los casquillos a la estructura.



Figura 5.8 Varilla con casquillos.



Figura 5.9 Colocación de los casquillos.

Elemento auxiliares

La caja con forma de “U”, se ha fabricado a partir de los retales de la lámina de acero empleada para la fabricación de la manivela. En la tronzadora se han cortado las tres partes que compone la U y un cuadrado pequeño que irá roscado a tornillo de fijación de la varilla. A una de las partes se le ha realizado un taladro y después un roscado con machos de roscar M8, que será donde se situará el tornillo de fijación. En la figura 5.10 se pueden ver su composición antes de ser soldada.

En la figura 5.11 se puede ver la caja ya soldada entre sí y con la estructura. En ella se han repasado las soldaduras con el uso del disco de lija de la radial.

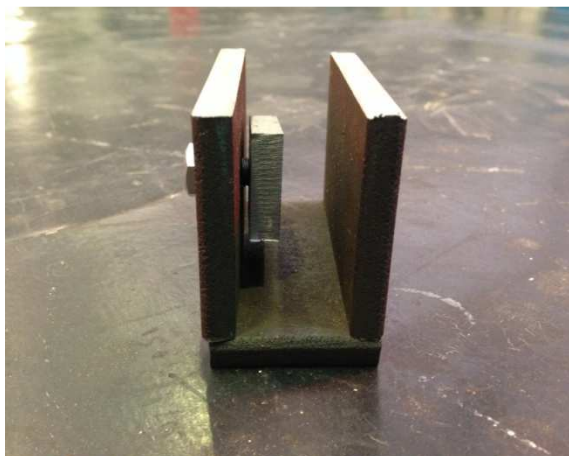


Figura 5.10 Caja U sin soldar.



Figura 5.11 Caja U soldada a la estructura.

La varilla empleada se ha mecanizado en la fresadora. Para realizar la escala graduada previamente se ha realizado un planeado de la superficie a grabar. Se ha hecho uso del divisor universal para colocar la varilla un ángulo de 90° respecto a las pequeñas superficies planas donde fijan los torillos de los casquillos soporte de la propia varilla. En la figura 5.12 se ve el planeado realizado. Después se ha situado la herramienta en un ángulo de 45° para exclusivamente rozar la fresa con la varilla y grabar la escala. Para ello se ha ido trasladando las medidas del nonio, marcando milímetro a milímetro durante el desplazamiento horizontal sobre la varilla. En la figura 5.13 se pueden ver el primer grabado.



Figura 5.12 Planeado de la varilla.



Figura 5.13 Grabado de la escala.

Elemento auxiliares

Se ha realizado una segunda pasada marcando con mayor profundidad cada 5 mm, resultado que se ve en la figura 5.14.

Posteriormente a estas operaciones, se han realizado dos planeados más en la varilla. Uno en la superficie opuesta a la graduada, para realizar un buen apoyo en la caja cuando esté fijada por el tornillo y el otro en la superficie superior para marcar numéricamente la escala. Se utilizarán elementos sufrideras, entre la varilla y las superficies de apriete, para no dañarla.



Figura 5.14 Acabado de la escala milimétrica.

Con un juego de troqueles numéricos, para grabar las medidas, se ha agarrado la varilla, se ha apuntado el troquel a la superficie y se ha martilleado sobre ella. Se han marcado los radios cada 5 mm y se ha repasado el troquelado con un rotulador indeleble de punta fina. En la figura 5.15 se puede ver el juego de troqueles usado y en la 5.16 se puede ver el resultado de su empleo durante el marcado.



Figura 5.15 Troqueles numéricos.



Figura 5.16 Marcado numérico de la varilla.

6. Pruebas de funcionamiento

Con la necesidad de justificar y dar valor a la fabricación y montaje de la máquina cortadora de discos de chapas, fue imprescindible ponerla a prueba para verificar su correcto funcionamiento y en caso de fallo o deficiencia en su empleo, realizar los pertinentes ajustes que lo corrigiera o, en su defecto, lo minimizara.

En este apartado, se hará una breve introducción teórica relativa al corte de chapas, que factores tienen mayor relevancia en él, así como su importancia en la máquina fabricada. Por otro lado, se enunciará el proceso de puesta a punto de la máquina con las consiguientes correcciones en su funcionamiento. Se ilustrará con imágenes el procedimiento seguido para la preparación y corte de una probeta. Y por último, se mostrarán resultados de cortes de discos de chapa, de diferentes materiales y espesores, realizados en la máquina.

6.1 Corte de láminas metálicas

Según P.Groover [4] existen una series de factores muy importantes que intervienen en el cizallado de láminas metálicas. Estos son, la separación entre las cuchillas cortadoras, el espesor del material a cortar y el propio material con sus características físicas. En la figura 6.1 se pueden ver las etapas del cizallado.

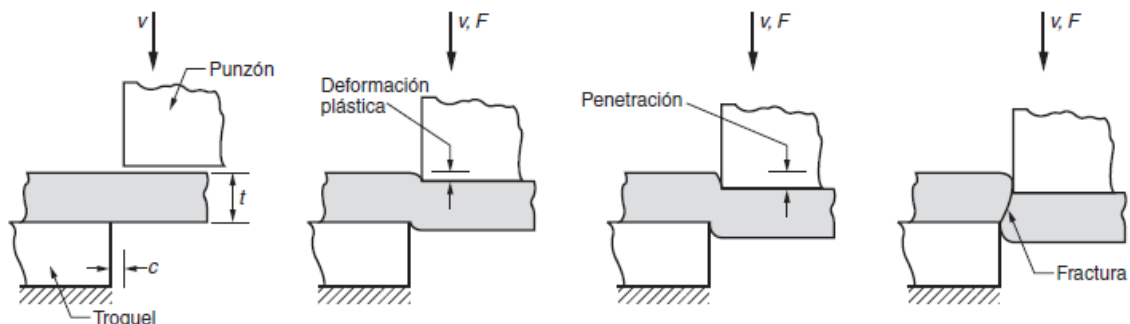


Figura 6.1 Cizallado [4].

También se puede observar en la imagen los parámetros “t” y “c”, haciendo referencia a los antes mencionados de espesor y separación entre cuchillas, respectivamente. La relación existente entre los dos parámetros viene reflejada en la siguiente tabla, figura 6.2, para cada grupo de material usado, donde “ A_c ” es la tolerancia del espacio, siendo la relación $A_c = c/t$.

Grupo metálico	A_c
Aleaciones de aluminio 1100S y 5052S, todos los temple	0,045
Aleaciones de aluminio 2024ST y 6061ST; latón, todos los temple; acero suave laminado en frío; acero inoxidable frío	0,060
Acero laminado en frío, dureza media; acero inoxidable, dureza media y alta	0,075

Figura 6.2 Valor de la tolerancia para grupos de materiales [4].

El espesor de láminas metálicas empleadas para el ensayo de probetas en el laboratorio del área de Ingeniería de los Procesos de Fabricación no superan los 2 mm. El mayor y menor espesor de chapas cortadas con la máquina son 1,6 mm y 0,8 mm. Los materiales empleados en las pruebas de la máquina han sido: Aluminio 7075-O, Aluminio 2024-T3 y Acero DC01. Todas las láminas que se han empleado habían sido previamente rechazadas para ensayo por daños superficiales. De modo que usando la tabla de la figura 6.2 y los datos mostrados se puede extraer el rango de separación de las cuchillas que será el siguiente:

$$c_{\text{máx}} = 0,06 \cdot 1,6 = 0,096 \text{ mm} \quad \text{y} \quad c_{\text{mín}} = 0,06 \cdot 0,8 = 0,048 \text{ mm}$$

Debido al estrecho rango de separación se decidió establecer una separación fija, no regulable. Por lo que, para trasladar el rango de separación a la máquina, se fabricaron casquillos de posicionamiento y se utilizó una galga de espesor en las comprobaciones hasta alcanzar dicha separación.

6.2 Puesta a punto de la máquina

En este apartado se mostrarán los pasos seguidos desde la finalización de la fabricación y el montaje de la máquina, los relativos a los apartados 2, 3 y 4, es decir, sin la fabricación de los elementos auxiliares, apartado 5, hasta el inicio de las pruebas de corte de discos de chapas una vez acabado el ajuste completo de la máquina.

6.2.1 Primeros cortes

La primera vez que se utilizó la máquina se empleó para el corte una chapa de Aluminio 2024-T3 con espesor 1,2 mm cuadrada de 500x500 mm².

La prueba fue realizada previa a la fabricación de los elementos auxiliares, mostrados en el apartado 5, y al ajuste de la separación entre cuchillas con el empleo de casquillos de posicionamiento. En la figura 6.3 se puede ver el buen resultado obtenido en el primer corte realizado con la máquina.

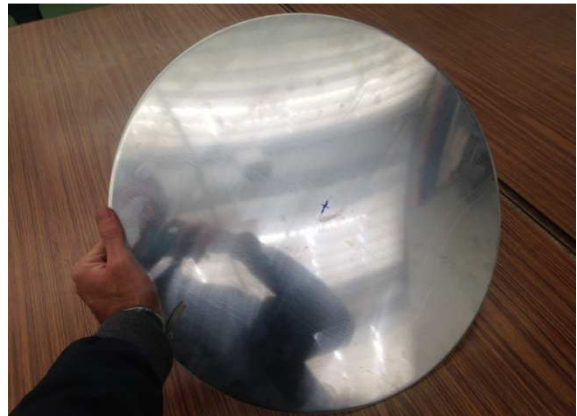


Figura 6.3 Primer corte.

Examinando con más detenimiento su acabado, la rebaba que presentaba la chapa en su filo cortado era considerable pudiendo ser debido a un mal ajuste de la separación de las cuchillas. En la zona central de la chapa, donde el sistema de sujeción actuaba sobre ella, se podía observar un rayado circular superficial que podría venir dado de un movimiento relativo entre el sistema de sujeción y la chapa durante el corte. Por ello se midió diferentes diámetros en la chapa para comprobar su circularidad hallándose una desviación de $\pm 5 \text{ mm}$ entre el mayor y el menor diámetro.

Para seguir operando con la misma chapa se le ejecutó un corte de inicio con una cizalla manual por el que comenzará a actuar el corte de la máquina. Así se pudo probar, sin necesidad de

cambiar de chapa, si con pequeños ajustes se podrían solucionar los problemas antes mencionados.

6.2.2 Correcciones adoptadas

Se propuso aumentar el par en el volante para ejercer un mayor agarre por parte de los platos y así analizar si con ello se subsanaba el problema de movimiento relativo entre la chapa y el sistema de sujeción. Antes de operar se señaló a rotulador una circunferencia concéntrica al plato superior en la chapa y así pudiéndose prestar especial atención, durante el corte, al movimiento antes mencionado. Se observó directamente el desplazamiento concluyendo que el mayor apriete de la chapa no mejoraba susceptiblemente ese defecto, de hecho si se aumentaba en exceso se reducía ostensiblemente la capacidad de giro de los rodamientos. Debido a esto se decidió analizar cuál era el origen de este error. En los sucesivos cortes, por un lado, se vio que la viruta saliente del corte empujaba en la cuchilla inferior ejerciendo un par extractor en la chapa de la sujeción. Por otro lado, se observó que el desplazamiento provocaba el movimiento de la parte superior de la estructura, descentrando el sistema de sujeción y provocando que la chapa no girara durante el corte alrededor de un punto fijo. También se observó que conforme la chapa reducía su tamaño a cada corte, el movimiento producido en él, era más representativo.

Para analizar la influencia que tenía el empuje de la viruta en la cuchilla inferior se decidió realizar el corte dirigiéndola con alicates separándola de la cuchilla. Con esto se pudo ver que su influencia era mínima en el movimiento. No obstante en otro de los materiales ensayados, como se enunciará más adelante, este empuje será muy representativo, dadas las características del material.

El problema generado en el filo cortado de exceso de rebaba se analizó y solucionó con la fabricación de los casquillos de posicionamiento y con el uso de una galga de espesor, hasta conseguir entrar en el rango de separación de cuchillas óptima, como se estudió en el punto 6.1. Con ello se redujo la rebaba ocasionada en el corte, facilitando la operación de corte habiéndose reducido el par necesario ejercido por el operario en la manivela.

Para corregir el problema de movimiento relativo entre chapa y platos, se decidió actuar sobre la estructura de la máquina restringiendo su movimiento lateral. La solución adoptada fue la fabricación del sistema de posicionamiento lateral y selección de radio de chapa, mostrado en el apartado 5.2. De esta manera se limitó el movimiento de la estructura consiguiendo que los platos del sistema de sujeción permanecieran en su posición en todo el corte de la chapa.

6.2.3 Corte de materiales de mayor exigencia

Una vez adoptadas las mejoras para la operación de corte de la máquina, se decidió ponerla en uso con otros materiales como el aluminio 7075-O y acero DC01, e incluso el mismo aluminio, 2024-T3, con un espesor de 1,6 mm. Así se podría comprobar si las medidas tomadas solucionaban los problemas presentes en los primeros cortes.

La chapa de aluminio 7075-O, con un espesor de 1,6 mm no supuso una mayor exigencia a la máquina. De hecho el par ejercido en la manivela para su corte, era muy similar al del aluminio

2024-T3 con espesor de 1,2 mm. Con este corte se ponía de manifiesto que las mejoras eran reales. Pero aún así, seguía existiendo un pequeño movimiento de la chapa, que se hacía más patente conforme la chapa a cortar era de un menor diámetro.

No resultó igual para el acero DC01. Las características de ductilidad presentes en este material dificultaban su corte. Con un espesor de 0,8 mm, la chapa en parte de su perímetro se cortaba con una precisión superior a las de las anteriormente mencionadas, pero en otras, doblaba de tal forma que las propias cuchillas tiraban de la viruta moviendo bruscamente la chapa de su agarre. En la figura 6.4 se puede observar como el material pasa la transición de un corte sin apenas rebaba a doblar dejando una gran rebaba y cambiando el radio de giro debido al movimiento brusco.

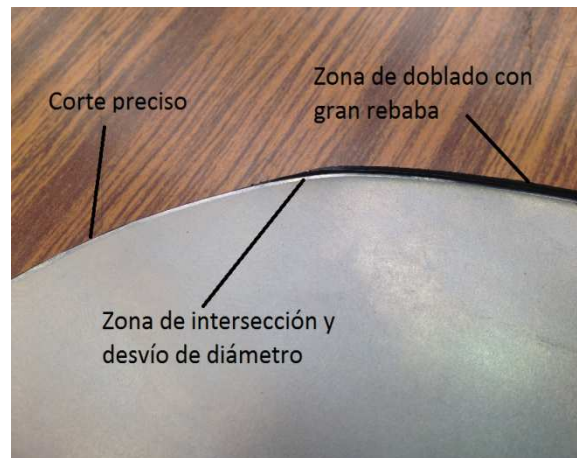


Figura 6.4 Zonas de corte de chapa de acero DC01.

Por último se cortó una chapa de aluminio 2024-T3 de 1,6 mm de espesor. El par proporcionado en la manivela para el corte de esta chapa era elevado siendo necesario fijar la máquina a la mesa de trabajo. No obstante, el resultado del corte era bueno y del mismo modo que con el aluminio 7075-O de 1,6 mm, pero también presentando una pequeña desviación en los diámetros por el pequeño movimiento en el agarre.

Habiéndose limitado el movimiento lateral en la estructura evitando el movimiento y el descentramiento de los platos del sistema de sujeción durante el corte, se redujo el movimiento de las chapas en este sistema, como quedó patente en el corte de las chapas de aluminio, pero no hasta el punto de mitigarlo. Por otro lado, las dificultades que presenta acero DC01 suponían un reto mayor, debido a las peculiaridades del material. Así que se optó por la fabricación de unos nuevos platos para el sistema de sujeción de chapas, con la idea de acotar más el problema del movimiento mejorando el agarre en las chapas y ver si otorgaba alguna incidencia positiva al corte de chapas de acero DC01.

6.2.4 Nuevos platos de agarre

Con la fabricación de unos platos diferentes a los existentes de 50 mm de diámetro, se pretendía mejorar la sujeción de la chapa. Ya estaba previsto en el diseño original de la máquina, el diseño de platos de mayor tamaño con el objetivo de cortar diferentes rangos de diámetros de chapa. También era muy importante crear unos platos que durante el apriete no dañaran el centro de la chapa, parte principal en los ensayos posteriores de la misma. Bajo estas premisas se fabricaron los platos partiendo de un disco de aluminio de 200 mm de diámetro gran espesor. Las operaciones de mecanizado realizadas fueron, cilindrado, barrenado, tronzado, taladrado, barrenado y moleteado. De la figura 6.5 a la 6.10 se puede observar algunas de estas operaciones y los resultados por ambas caras de los platos mecanizados.



Figura 6.5 Refrentado.

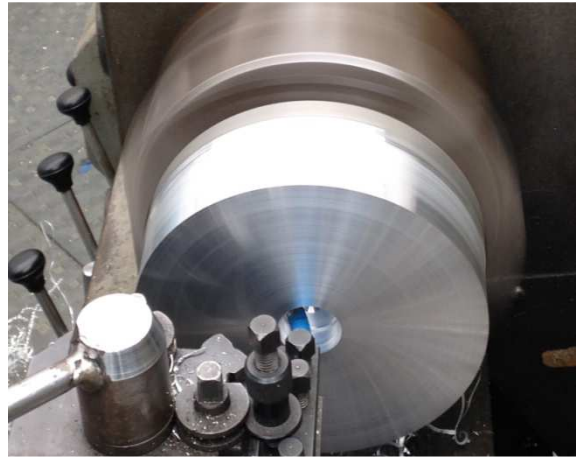


Figura 6.6 Barrenado.

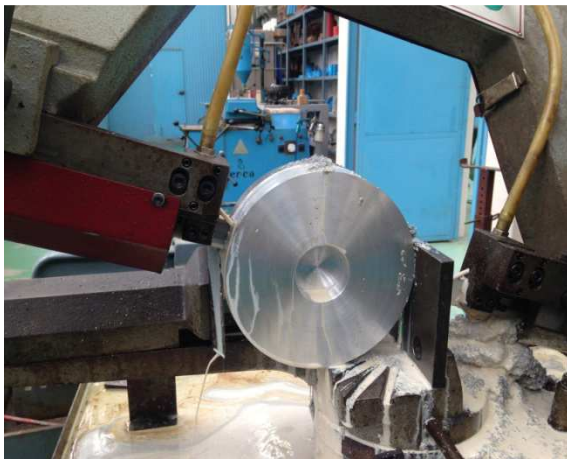


Figura 6.7 Tronzado.



Figura 6.8 Refrentado dejando un anillo exterior.



Figura 6.9 Caras de agarre.



Figura 6.10 Caras de acople con los platos origen.

En la figura 6.9 se puede apreciar el moleteado en los anillos exteriores para proporcionar a los platos un mayor agarre. En la figura 6.10 se ven los orificios creados en los platos, ideados para acoplar en los platos de forma sencilla. Una vez fabricados, fueron acoplados en los platos iniciales y se utilizaron en nuevas operaciones de corte de chapas. En la figura 6.11 se puede ver el posicionamiento de los nuevos platos con una chapa preparada para cortar.

La implementación de los nuevos platos en el corte de la máquina, proporcionó un correcto agarre de la chapa, no marcando la parte central de la misma.

También se apreció una sutil mejoría en el movimiento relativo entre chapa y platos, al aumentar la superficie de agarre conjunto al efecto del moleteado. No siendo la mejoría esperada.

Por otro lado, el acero DC01 seguía mostrando los mismos problemas cuando la chapa empezaba a doblarse en vez de cortarse.

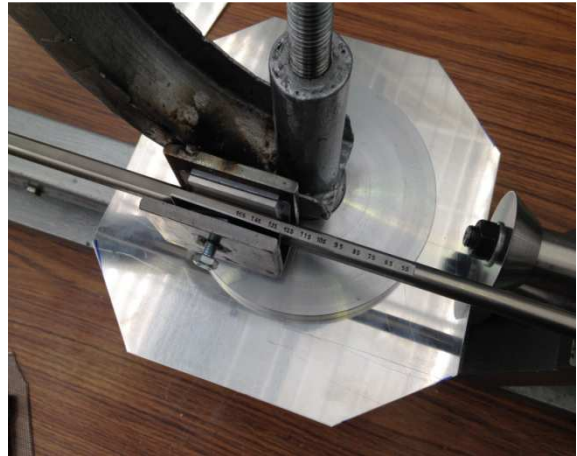


Figura 6.11 Sujeción de chapa con los nuevos platos.

Teniendo en cuenta que los nuevos platos no mejoraron cualitativamente el problema del movimiento de chapa durante el corte, aunque sí permitieran que estas no se dañaran en la zona central de ensayo, se continuó analizando cual era el origen del fallo durante el funcionamiento, fallo reducido por los ajustes llevados a cabo. Finalmente se estableció una hipótesis.

6.2.5 Origen del problema y solución constructiva

Llegados a este punto, habiéndose adoptado diferentes medidas con el principal objetivo de minimizar aquellos fallos que impidieran un funcionamiento correcto de la máquina, no siendo del todo alcanzados, se llegó al convencimiento de que el problema del movimiento de la chapa en el corte venía dado por un momento de una fuerza, en el plano de la chapa, que durante el corte ejercía la suficiente fuerza para mover la chapa en su agarre, aunque el apriete fuera alto.

Como se enunció anteriormente, en los cortes, la viruta saliente del corte empujaba contra la cuchilla inferior, pudiendo ser el origen del problema, pero se probó a dirigir la viruta con alicates, no resultando ser la consecuencia del movimiento, o por lo menos no a excepción del corte del acero DC01.

De aquí se estableció una hipótesis. Cuando se diseñó la máquina, tanto en el diseño original, como en el posterior con las modificaciones ejecutadas, se decidió como correcto, alinear la estructura en arco con el sistema de sujeción con el mecanismo de corte. Esto quiere decir, que el centro de agarre de la chapa, en el cual rotan los rodamientos del sistema de sujeción, estaba alineado con el centro de las cuchillas de corte. Pero debido a la superposición de la cuchilla superior con la inferior, en torno a 2 mm, el punto de corte de las cuchillas está desplazado lateralmente unos 8 mm.

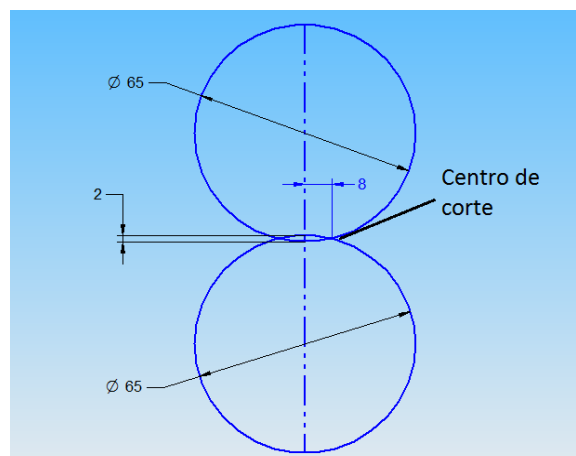


Figura 6.12 Geometría del centro de corte.

Pruebas de funcionamiento

En el plano horizontal, el de la chapa, ese pequeño brazo sería el causante del momento de fuerza que produciría el desplazamiento de la chapa dentro de los platos. Con esta hipótesis cobra sentido que el efecto del movimiento fuera mayor conforme la chapa a cortar fuera de un diámetro menor, siendo más representativo el brazo del momento.

Para dar solución a esta desviación de centros y eliminar ese momento, se decidió trasladar la estructura en arco alineándola esta vez con el centro de corte de las cuchillas. Con la idea de confirmar la hipótesis se decidió desatornillar la unión de la estructura a la base, desplazarla esos 8 mm y agarrarla con mordazas, antes de modificar nada en el diseño.

Se probaron las chapas más exigente con las que había trabajado la máquina y a excepción de la chapa de acero, con sus características de ductilidad continuaba dando problemas, el resultado confirmaba que el problema de movimiento quedaba minimizado, alcanzando el objetivo.

Así que se dispuso a modificar los apoyos de la estructura de unión con la base para poder desplazarla hasta alinearla con el centro de corte. La solución fue la de ranurar con la fresadora, partiendo de los taladros, esos puntos de apoyo, como se puede observar en las figura 6.13 y 6.14.



Figura 6.13 Ranurado del apoyo trasero.

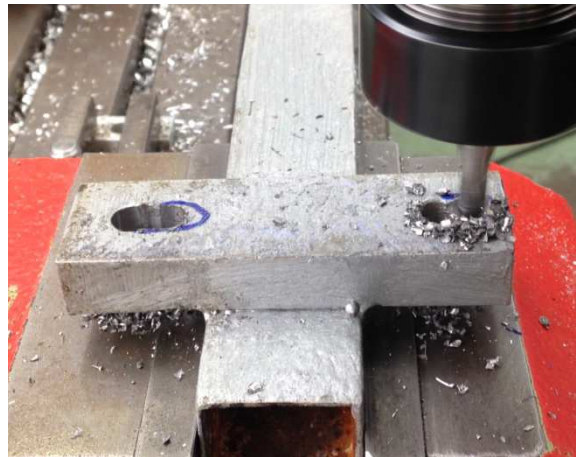


Figura 6.14 Ranurado de los apoyos delanteros.

6.3 Instrucciones para el corte

En este apartado se indicarán los pasos seguidos para el corte de un disco de chapa, desde la preparación de la probeta hasta la comprobación del diámetro seleccionado en el disco una vez cortado.

Partiendo de una lámina metálica rectangular de grandes dimensiones, se señala a rotulador el rectángulo a cortar, teniendo en cuenta un sobredimensionamiento de unos 10 mm por lado (respecto al diámetro del disco a cortar), dejando solo 5 mm en el lado de inicio de corte que roza inicialmente en la pared de la cuchilla superior. Se traslada la lámina a la cizalladora para cortarla. También se cortan las esquinas del rectángulo, para evitar el contacto de la chapa con una de las torres que sustentan el mecanismo de corte. En las figuras 6.15 y 6.16, se ven la maquina cizalladora con la lámina y la chapa lista para el corte en disco, respectivamente.

Pruebas de funcionamiento



Figura 6.15 Cizalladora y lámina a cortar.

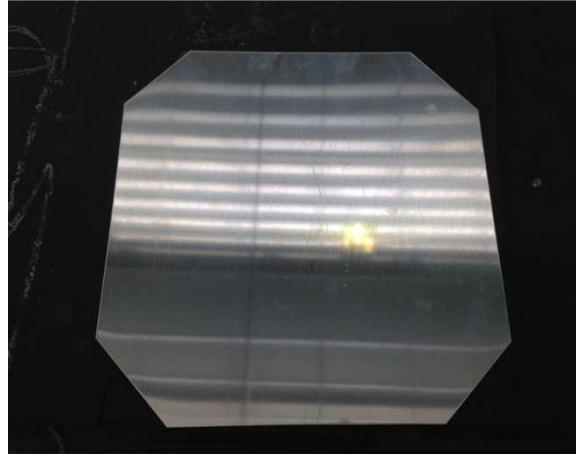


Figura 6.16 Chapa preparada.

A continuación, con una llave de tubo se libera los tornillos tanto del sistema corredera como del sistema de posicionamiento lateral, para permitir el desplazamiento horizontal de la estructura, figura 6.17 y 6.18. Se introduce la chapa preparada en el sistema de sujeción, se centra y se aprieta sutilmente con el volante. Se mueve la estructura hasta hacer topar el lateral más corto de la chapa con la cara de la cuchilla superior, ajustando en el sistema de medición el radio de chapa requerido y apretando los tornillos de fijación antes mencionados, figuras 6.19 y 6.20.



Figura 6.17 Liberación de los tornillos fijadores.



Figura 6.18 Desplazamiento de la corredera.



Figura 6.19 Radio del disco a cortar.



Figura 6.20 Apriete de tornillos de fijación.

Pruebas de funcionamiento

La medida es enrasada mirando perpendicularmente la escala tallada, siendo la caja en U del sistema de posicionamiento lateral, la que marca el radio en la varilla. Antes del corte se termina de apretar el sistema de sujeción con el volante.

En la siguiente figura, 6.21, se puede observar la máquina preparada para de la operación del corte de un disco de chapa.



Figura 6.21 Máquina preparada para el corte.

Y para terminar, en las figuras 6.22 y 6.23 se muestra el disco de chapa cortado con una regla metálica para comprobar si el diámetro seleccionado es el mismo que presenta el disco cortado. El plano que presenta el disco en la parte inferior es debido a que en el corte se parte de chapas cuadradas y hay un pequeño desplazamiento hasta que las cuchillas muerden la chapa.

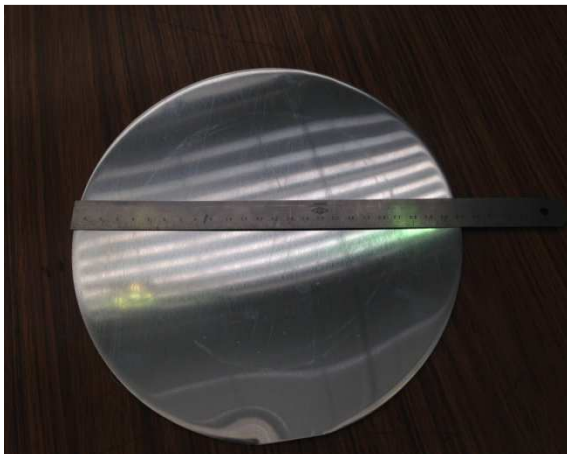


Figura 6.22 Disco de chapa.



Figura 6.23 Comprobación del diámetro.

6.4 Resultados de los cortes

Aquí se expondrán las pruebas de funcionamiento de la máquina post puesta a punto. Se hará una clasificación por material, indicando los espesores de las chapas, así como las apreciaciones extraídas de los cortes realizados. También se mostrarán las imágenes de los discos de chapa cortados en la máquina. Cabe mencionar nuevamente, que las pruebas realizadas en esta etapa también se han llevado a cabo con materiales descartados para su ensayo por desperfectos, a excepción de unas láminas de policarbonato.

6.4.1 Aluminio 2024-T3

Fue el primer material probado en la máquina, antes de la puesta a punto, para observar posibles fallos en su funcionamiento. Es uno de los materiales, actualmente, más ensayados en los laboratorios del área de procesos de fabricación. Este material es ampliamente usado en la industria aeroespacial.

Los espesores de lámina con los que se han trabajado han sido 0,8 mm, 1,2 mm y 1,6 mm. El resultado del corte de discos de chapa se pueden observar desde la figura 6.24 hasta la 6.26.



Figura 6.24 Disco de Al 2024-T3, espesor 0,8 mm.

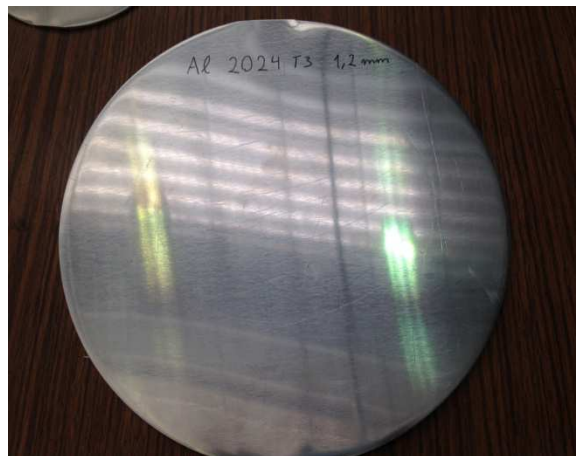


Figura 6.25 Disco de Al 2024-T3, espesor 1,2 mm.

En empleo de la máquina para el corte de discos de chapas en este material ha sido satisfactorio. El esfuerzo realizado por el operario para el corte de estas chapas ha ido en función del espesor, necesitando fijar la máquina para cortar la chapa de 1,6 mm de espesor y usando ambas manos debido a su dureza, no así en los otros espesores. La rebaba presente en el filo cortado es pequeña. Y la circularidad de los discos ha sido comprobada y dada por buena, quedando patente la mejora de la puesta a punto en este aspecto.



Figura 6.26 Disco de Al 2024-T3, espesor 1,6 mm.

6.4.2 Aluminio 7075-O

También es uno de los materiales, actualmente, más ensayados en los laboratorios del área de procesos de fabricación. Este material es ampliamente usado en la industria aeronáutica y automovilística.

Los espesores de lámina con los que se han trabajado han sido 1 mm y 1,6 mm. El resultado del corte de discos de chapa se pueden observar en las figuras 6.27 y 6.28 a la derecha.

En empleo de la máquina para el corte de discos de chapas en este material ha sido satisfactorio. Durante el corte de la chapa de 1 mm se desprendían pequeñas virutas dando la sensación de una rotura frágil, pudiendo deberse a su espesor, a la antigüedad de la lámina cortada.

Por otro lado la de espesor 1,6 mm era cortado con un par, en la manivela del sistema de corte, parecido al de la lámina de 1,2 mm de aluminio 2024-T3. Nuevamente es puesto de manifiesto la correcta circularidad presente en los discos cortados.



Figura 6.27 Disco de Al 7075-O, espesor 1 mm.



Figura 6.28 Disco de Al 7075-O, espesor 1,6 mm.

6.4.3 Acero DC01

Este material es empleado en el laboratorio del área de procesos, en prácticas mostradas al alumnado de la universidad. Es un material altamente conformable empleado numerosas industrias con diversas aplicaciones como la automovilística y la eléctrica.

Solo se ha podido trabajar con un espesor de lámina de 0,8 mm. En la figura 6.29 se puede observar un disco cortado de este acero. En la imagen se aprecia rápidamente la deformación del disco.



Figura 6.28 Disco de Acero DC01, espesor 0,8 mm.

Como ya se expuso en anteriores apartados del punto 6, el corte de este material ha sido una constante de errores y fallos, los cuales no han podido ser corregidos con los ajustes y reglajes acometidos en la máquina durante su puesta a punto.

La principal dificultad que presenta este material para su corte es su ductilidad, buenas para operaciones de estampación o embutición, pero no óptimas para el cizallado. Y aunque el corte realizado en algunas partes del filo del disco sean de gran calidad, en el momento que empieza a deformar, crea una gran rebaba que tira del disco y lo mueve de su agarre, produciendo el fallo.

Otro ejemplo de su comportamiento se produce en la máquina cizalladora, de gran precisión, mostrada en la figura 6.15, en donde este material pliega si el movimiento de bajada de la cuchilla superior no se realiza con una velocidad adecuada.

Por estas características, se puede catalogar la máquina cortadora de discos de chapa como no apta para cortar correctamente el acero DC01, en las condiciones de corte actuales.

6.4.4 Policarbonato

Otro de los materiales que se usan para ensayo en el laboratorio de procesos de fabricación son láminas de policarbonato, un polímero con numerosas aplicaciones.

Debido que la máquina era capaz de cortar láminas de aluminio y acero, y ya que se necesitaban para el ensayo algunos discos de este material, se dispuso la máquina, por primera vez, para cortar un pedido oficial, al cual se le realizaría posteriormente el ensayo de Erichsen.

Los espesores de lámina con los que se han trabajado han sido 1 mm y 2 mm. El resultado del corte de discos de chapa se pueden observar en las figuras 6.30 y 6.31.

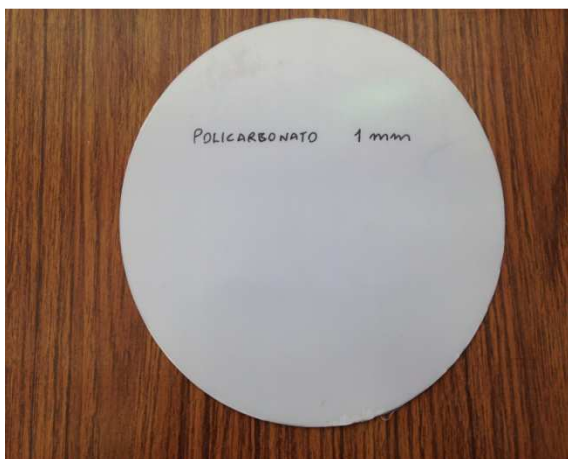


Figura 6.30 Policarbonato, espesor 1 mm.



Figura 6.31 Policarbonato, espesor 2 mm.

En empleo de la máquina para el corte de discos de chapas en este material ha sido satisfactorio. A diferencia de las láminas metálicas, las cuchillas cortan pero no muerden el material, deslizándose durante el corte y siendo necesario alimentar a las cuchillas favoreciendo manualmente el giro y corte de las mismas. También, el par otorgado para el corte de este material es bajo, como era de suponer.

Pruebas de funcionamiento

Y por último, la circularidad de los discos de policarbonato resultantes, es correcta. A modo de ilustración, en la figura 6.32, se pueden observar dos disco de de policarbonato, el de la izquierda cortado con la máquina, y el de la derecha, cortado con múltiples cortes de cizalla, previo a la fabricación y montaje de la máquina cortadora de discos de chapa.

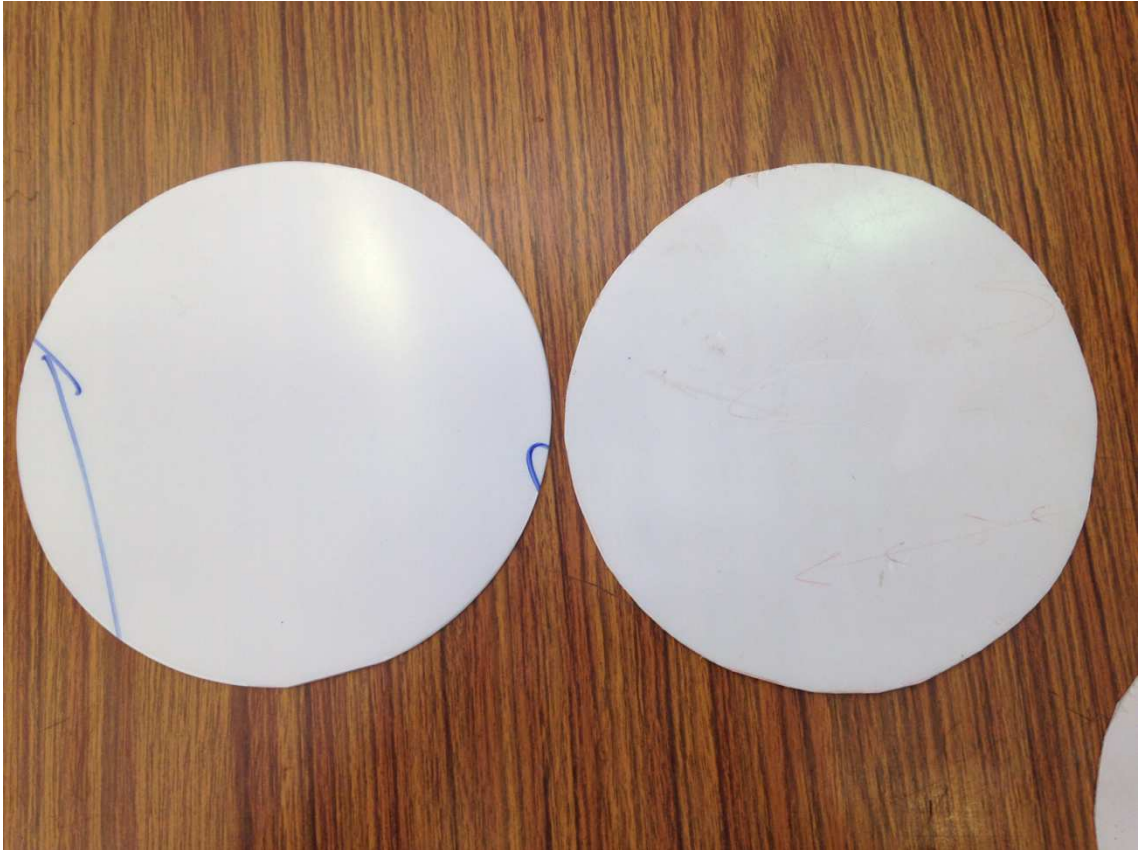


Figura 6.32 Policarbonato, espesor 1 mm.

7. Conclusiones

Atendiendo a los objetivos marcados y las tareas a desarrollar, al inicio de este trabajo, a continuación, se van a exponer las conclusiones extraídas.

El trabajo se inició en el taller con los planos del diseño original. De estos se han realizado numerosas modificaciones, debido a las condiciones materiales y de maquinaria del taller de fabricación. Con las modificaciones ejecutadas se ha conseguido el aprovechamiento de materiales existentes en el taller, para la fabricación de casi la totalidad de las piezas, tanto de la estructura como del sistema de corte, a excepción de las cuchillas de corte y los rodamientos. De este modo se ha evitado el gasto de dinero en externalizar la fabricación de estas piezas.

Unas de las piezas más relevantes en la estructura de la máquina, la estructura en arco, sufrió una modificación importante. Debido a la falta en el taller del perfil T60 seleccionado en el diseño original, se optó por escoger un perfil U60 disponible, con menor espesor. Tanto la fabricación como el uso de esta pieza ha presentado dificultades. En lo relativo a su fabricación, la necesidad de realizar numerosos cortes para doblarla y de ir soldándola progresivamente, supuso numerosas horas de trabajo. En cuanto a su funcionamiento, la soldadura de un nervio interior en forma de luna, mejoró ostensiblemente su oscilación vertical, pero su debilidad ante esfuerzos laterales, durante el corte, generó la necesidad de añadir un sistema de fijación lateral, no planteado en el diseño original. Por todo lo mencionado, esta pieza debería de haber sido fabricada por una empresa externa, habiendo seleccionado previamente un nuevo perfil, con mayor resistencia a esfuerzos laterales que los seleccionados tanto en el diseño original como el escogido en el taller.

Otra de las piezas que necesitó numerosas horas de trabajo fue el tallado del engranaje a 15° . Inicialmente se contactó con algunas empresas para la fabricación de los engranajes calculados en el diseño original ($7,5^\circ$ de conicidad cada uno), pero dada la pequeña magnitud del pedido y la peculiaridad de su diseño, se obtuvo como respuesta, negativas. La disponibilidad de un juego de engranajes de un torno ya usados, otorgó la posibilidad de escoger uno de ellos para el tallado de los 15° , ahorrando la mitad de la operación, y emplear otro gemelo sin tener que realizarle ninguna operación. Otro de los inconvenientes fue el de no contar con una fresa madre para disminuir el tiempo de operación, teniendo que emplear una fresa del módulo adecuado y tallar diente a diente en varias pasadas. Teniendo en cuenta las diferentes dificultades presentadas para la fabricación del engranaje, se debería de haber insistido en contactar con más empresas hasta hallar una que pudiera acometer el pedido y en caso negativo, sería conveniente comprar una fresa madre que pudiera tallar el diente con características deseadas y no diente a diente con una fresa de módulo.

Las torres soporte del mecanismo de corte diseñadas originalmente y las fabricadas una vez adaptadas poseen un inconveniente. A la hora de cortar discos de chapas provenientes de láminas rectangulares, las esquinas de las láminas chocan con la torre frenando el corte, cuando se cortan discos de amplio diámetro. Esto se soluciona fácilmente cortando las esquinas en la máquina cizalladora, pero para ahorrar esa operación, sería conveniente, en caso de necesidad, cambiar el

Conclusiones

diseño de las torres por uno que dispusiera de una ranura por donde pudieran atravesar las esquinas del disco a cortar.

La mayoría de piezas fabricadas a partir de los materiales presentes en el taller no han presentado dificultades durante su fabricación y otras, pequeñas dificultades menores no representativas.

El montaje de las diferentes partes de la máquina ha sido rápido y sencillo. Las numerosas uniones atornilladas facilitan el montaje y desmontaje de las distintas piezas, permitiendo un posible recambio futuro. Por otro lado, las uniones soldadas se pueden separar con un corte sin requerimiento de un gran esfuerzo.

Los elementos auxiliares añadidos a la máquina, proporcionan mejoras tangibles. Por un lado, con la carcasa protectora se evita el problema de atrapamiento, en los engranajes y los protege de golpes, añadiendo que su estética, con los laterales de policarbonato transparente, permite observar su correcto funcionamiento de los mismos. Por otro lado, el sistema de posicionamiento lateral y selección de diámetro de chapa, evita el movimiento lateral de la estructura en arco y a su vez, proporciona el sistema de medición necesario en la máquina.

Las primeras pruebas de corte realizadas pusieron de manifiesto los fallos de la máquina, pero con la puesta a punto, la incorporación del sistema de posicionamiento lateral y sobre todo, la corrección establecida de la alineación de la estructura con el punto de inicio de corte de las cuchillas, se consiguieron minimizar. Aún así, cabe mencionar que podrían ejecutarse algunas medidas para la mejora en el sistema de corte, que ayudaran durante el proceso:

- Establecer un canal de viruta en la salida de la misma durante el corte, que consiguiera evitar su roce con la cuchilla inferior. Esto solucionaría el empuje que la viruta realiza en la chapa y el daño, que a la larga podría provocar en la cuchilla.
- Añadir una tercera rueda dentada superior a las anteriores y más pequeña, que engranara en ellas y ejerciese como piñón. La manivela tendría que accionar a este piñón y con ello se reduciría el esfuerzo ejercido por el operario en el corte, facilitando el corte de las chapas con mayor dureza y espesor.
- Empleo de un motor eléctrico en sustitución de la fuerza ejercida por el operario. Puede que en un corte constante y a unas revoluciones apropiadas, el acero DC 01 no presentara tantos problemas para su corte.
- Diseño y fabricación de nuevos platos para el sistema de sujeción de chapa que proporcionen un agarre superior en la chapa y que no dañe la zona central de la misma (zona de ensayo). Se podría añadir a los platos un material antideslizante que ayude en la sujeción.
- Pedir nuevas cuchillas del mismo material pero con la mitad de espesor, de 20 mm a 10 mm. Con ello aumentaría el rango de discos a cortar, pudiendo llegarse a cortar discos de 100 mm de diámetro.
- Ensayar con láminas de materiales diferentes a los probados, podría proporcionar nuevas evidencias en el comportamiento de la máquina y ejecutar otras mejoras las mencionadas.

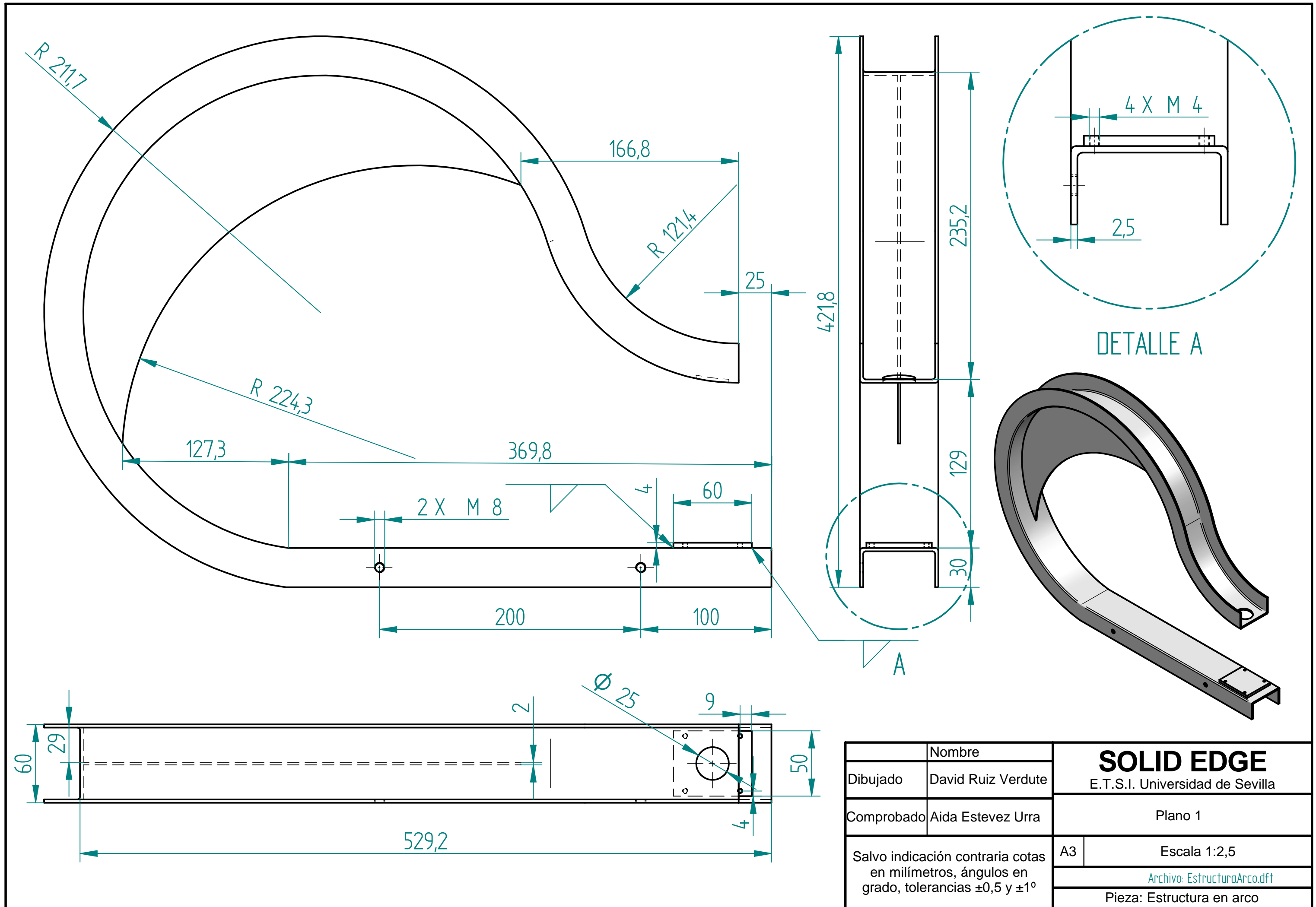
8. Planos

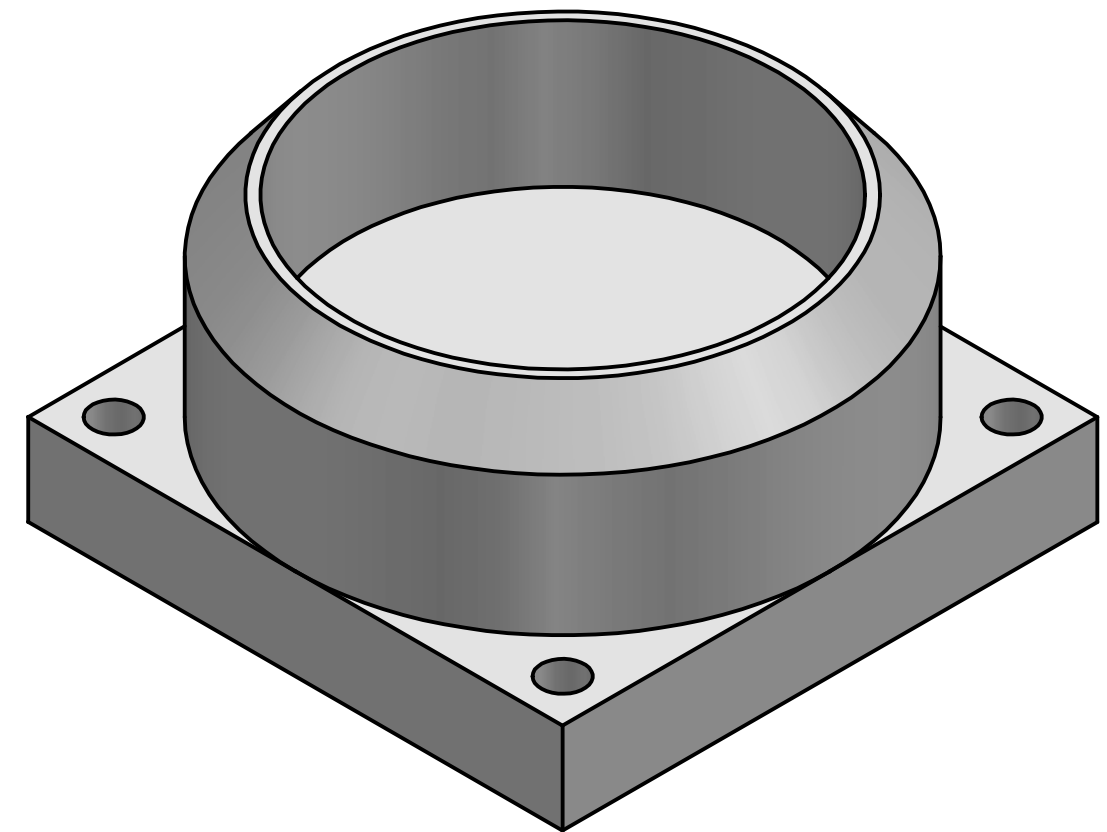
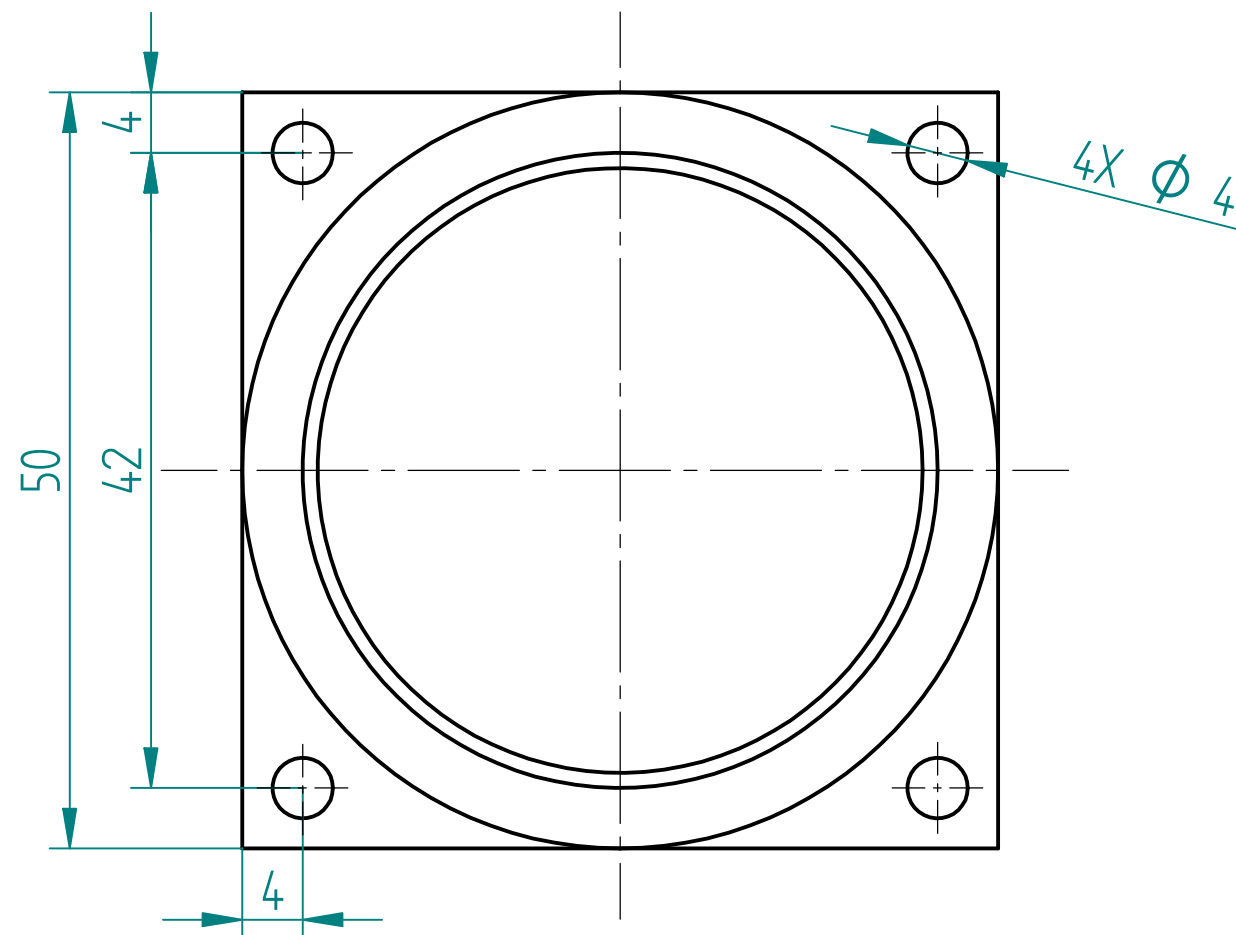
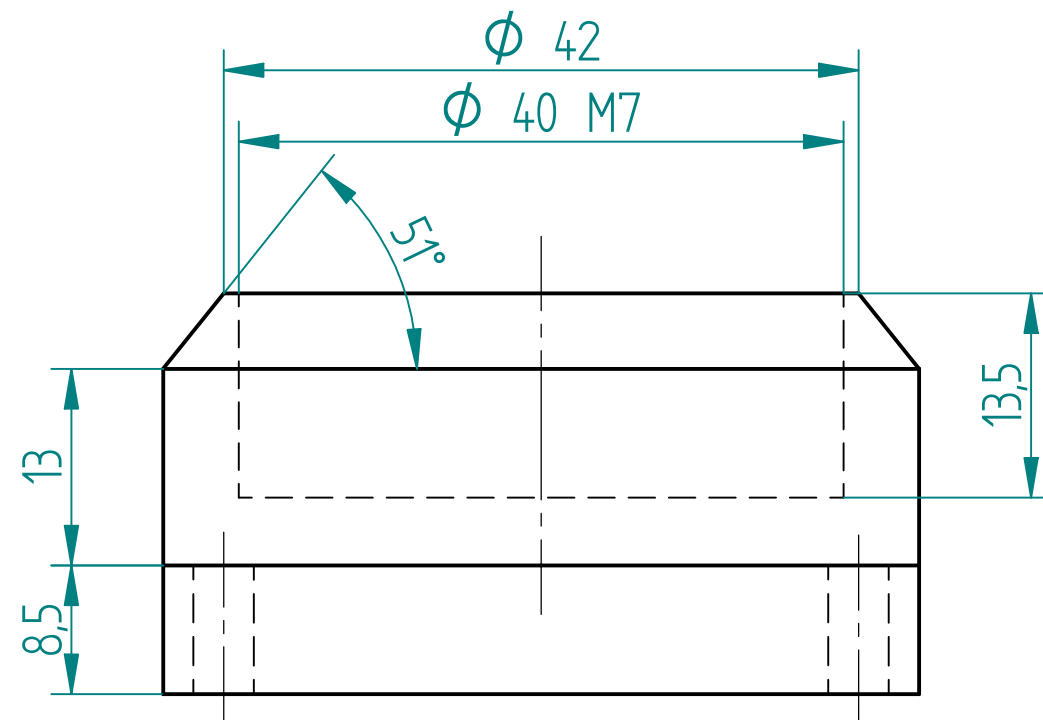
Se han elaborado planos de las piezas que han sido modificadas respecto al diseño original. A continuación se presentará un índice con los planos realizados que se pueden ver al final del trabajo. Se han añadido los dos planos de las cuchillas de corte que fueron elaborados por Daza [2].

- Plano 1: Estructura en arco.
- Plano 2: Alojamiento de rodamiento cónico inferior.
- Plano 3: Cilindro con ajuste y rosca.
- Plano 4: Plato inferior.
- Plano 5: Tornillo con volante.
- Plano 6: Casquillo porta tornillo.
- Plano 7: Plato superior.
- Plano 8, 9 y 10: Planos de las torres soporte del mecanismo de corte.
- Plano 11: Barra corredera.
- Plano 12: Barra fija.
- Plano 13: Base de la estructura.
- Plano 14: Manivela del mecanismo de corte.
- Plano 15: Eje inferior.
- Plano 16: Eje superior.
- Plano 17: Rueda dentada inferior.
- Plano 18: Rueda dentada superior.
- Plano 19: Plato inferior nuevo.
- Plano 20: Plato superior nuevo.
- Plano añadido 1: Cuchilla inferior.
- Plano añadido 2: Cuchilla superior.

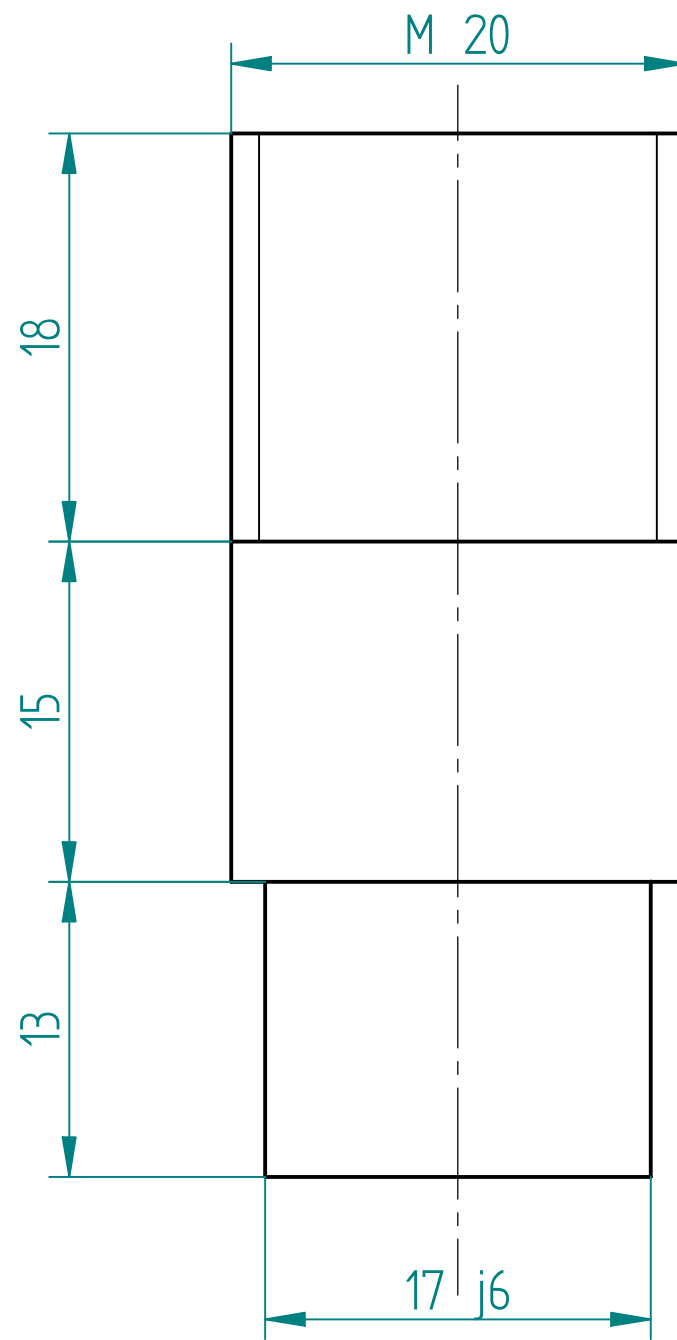
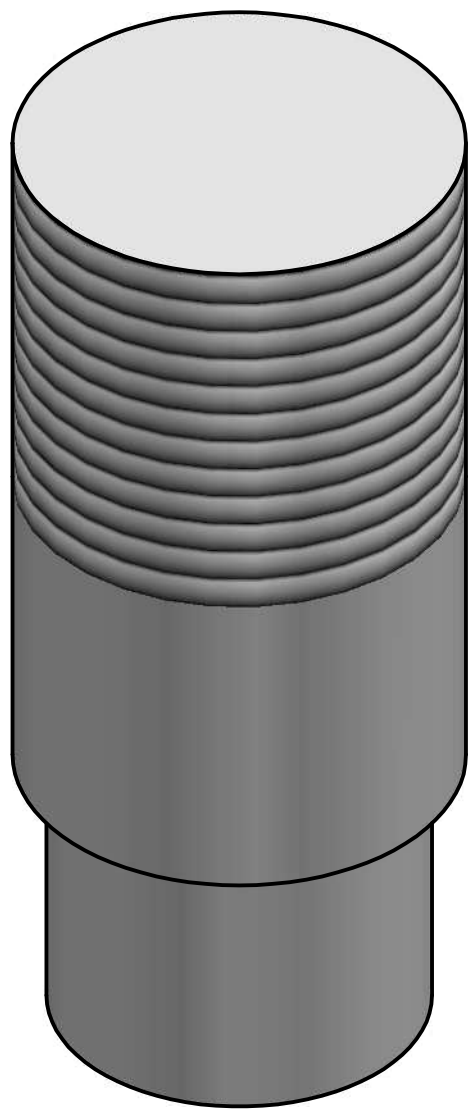
9. Bibliografía

- [1] *TFG Diseño de máquina cortadora de discos de chapa*, Autor: Julio Darío de la Rosa Asencio.
- [2] *TFG Diseño del mecanismo de corte para máquina cortadora de discos de chapa*, Autor: Carlos Daza Pelegrina.
- [3] *Máquinas, Cálculos de taller*, Autor: A. L. Casillas.
- [4] *Fundamentos de la manufactura moderna: materiales, procesos y sistemas, Tema 20*, Autor: Mikell P. Groover.

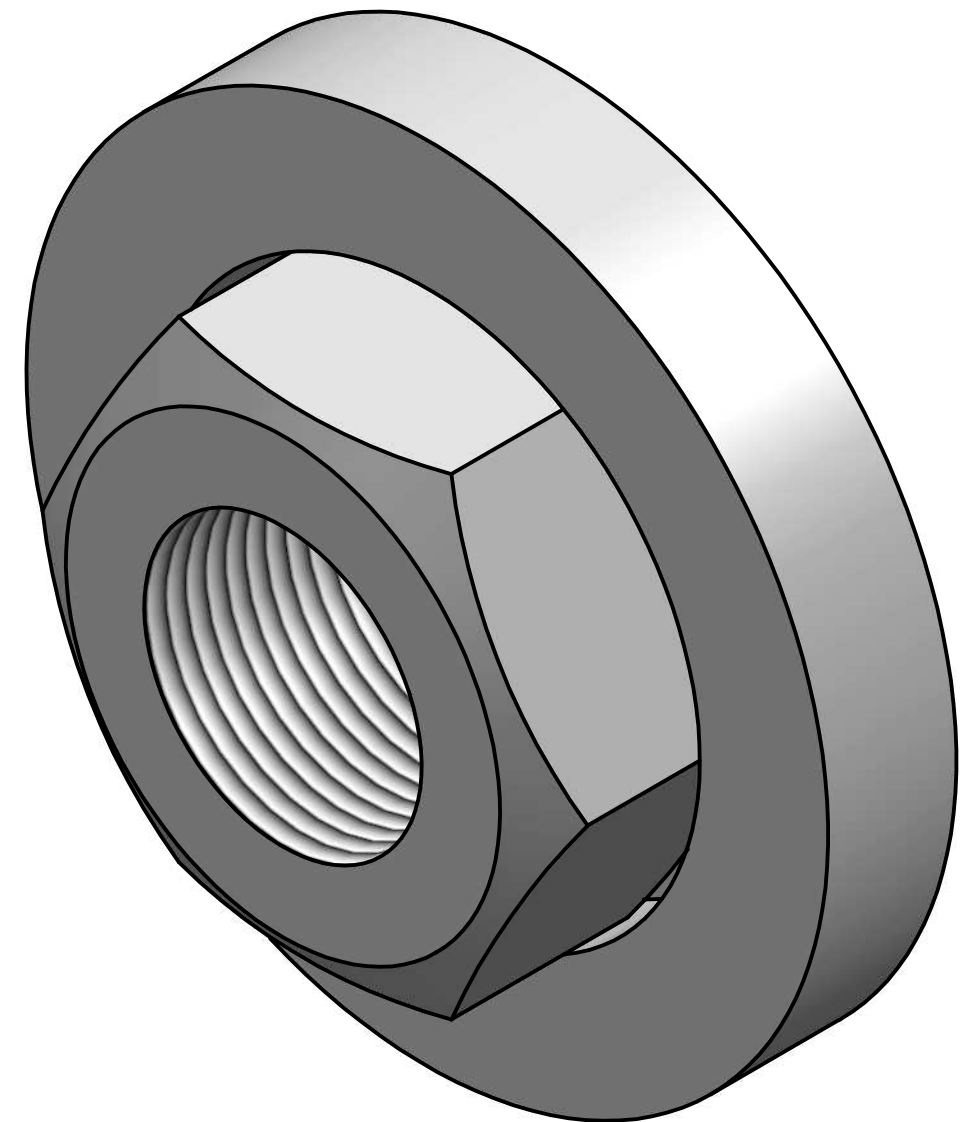
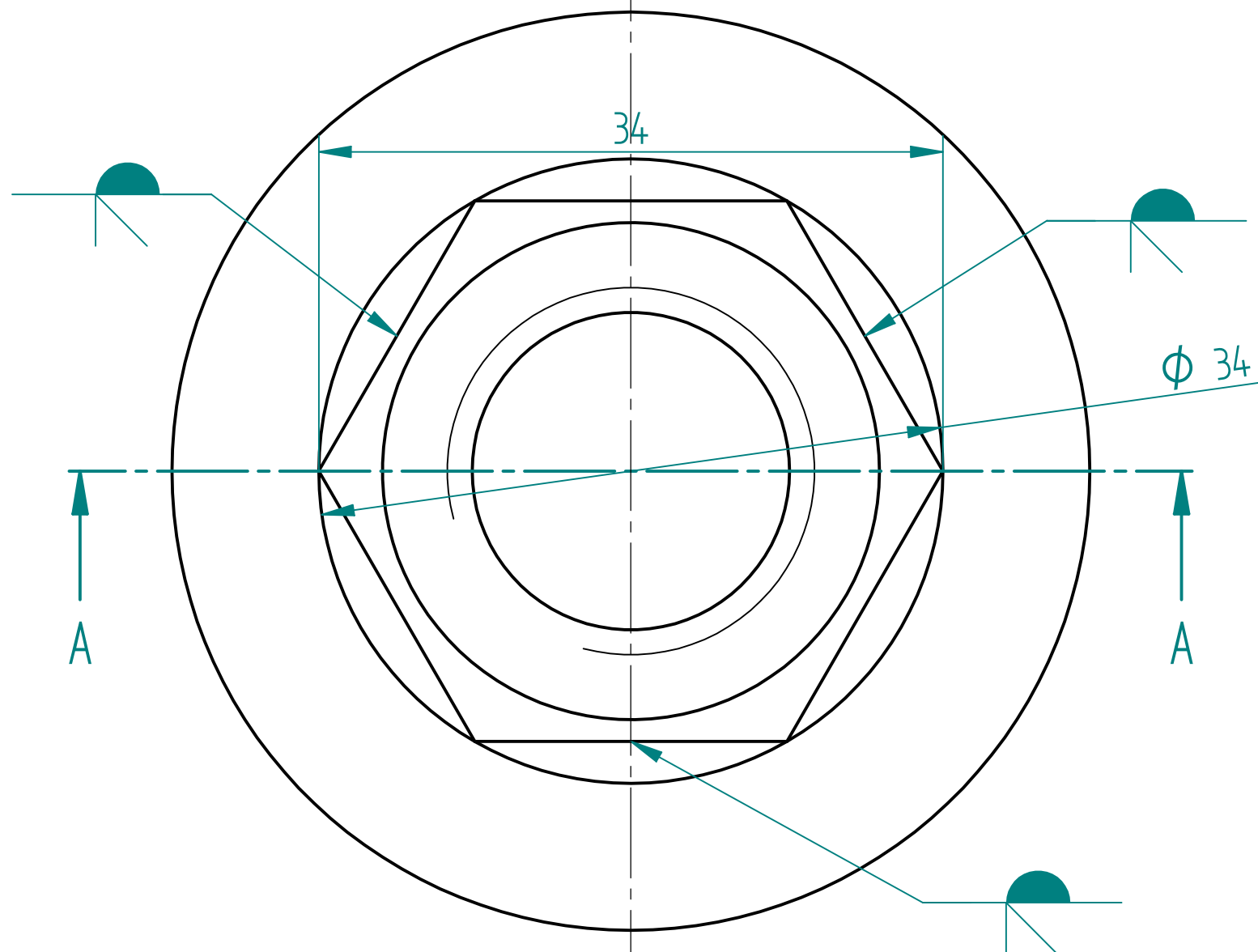
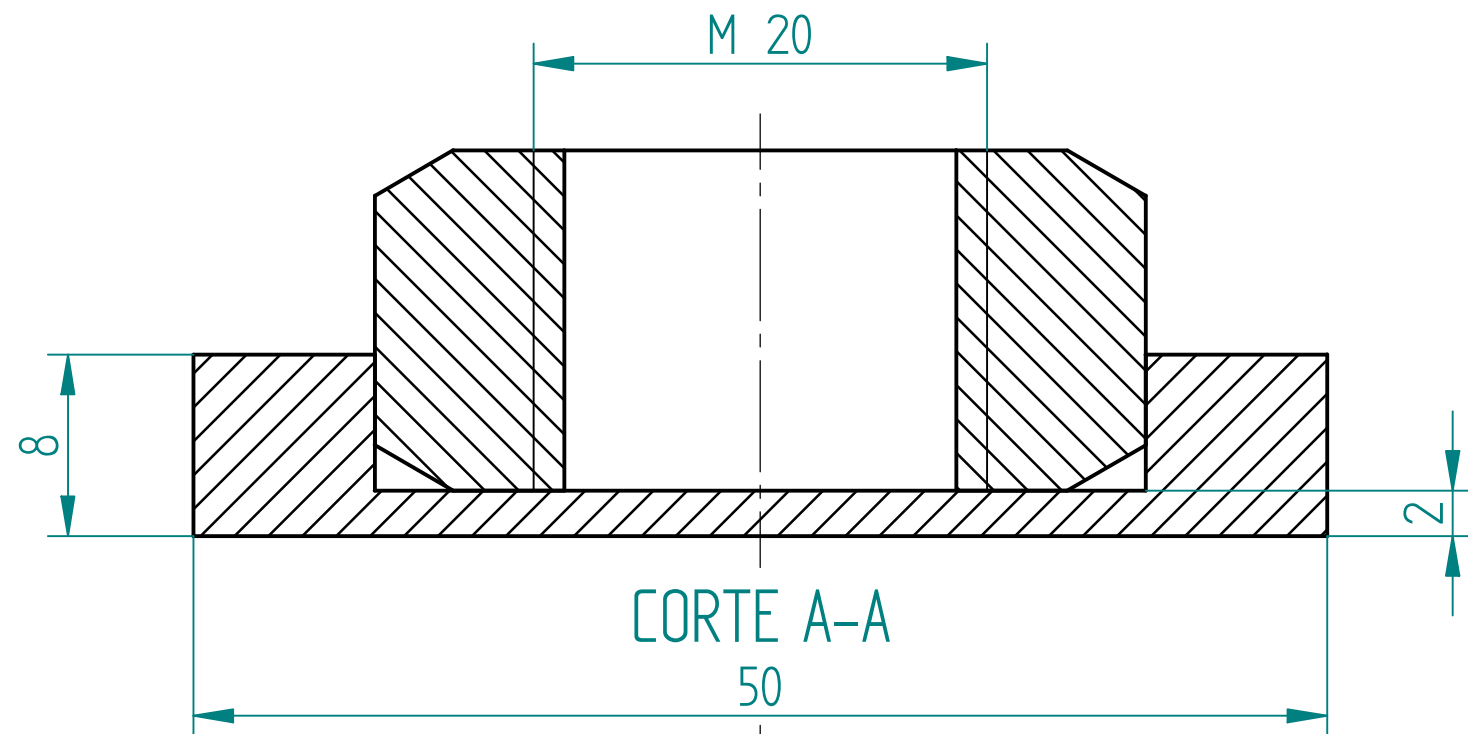




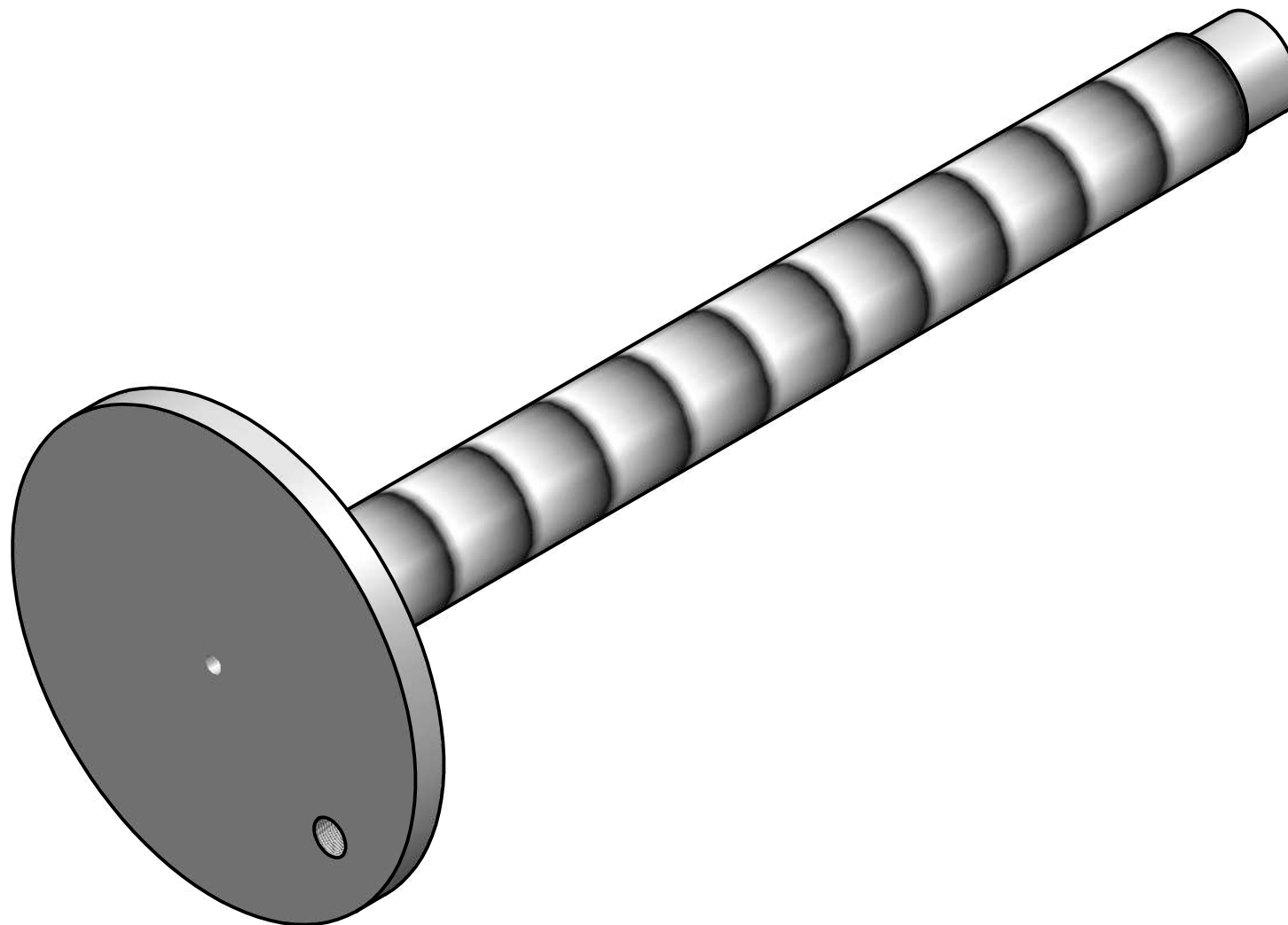
Nombre		SOLID EDGE E.T.S.I. Universidad de Sevilla	
Dibujado	David Ruiz Verdute		
Comprobado	Aida Estevez Urra	Plano 2	
Salvo indicación contraria cotas en milímetros, ángulos en grado, tolerancias $\pm 0,5$ y $\pm 1^\circ$		A3	Escala 2:1
		Archivo: Alojamiento_Rod_Inf.dft	
		Pieza: Alojamiento Rod. Con. Inf.	



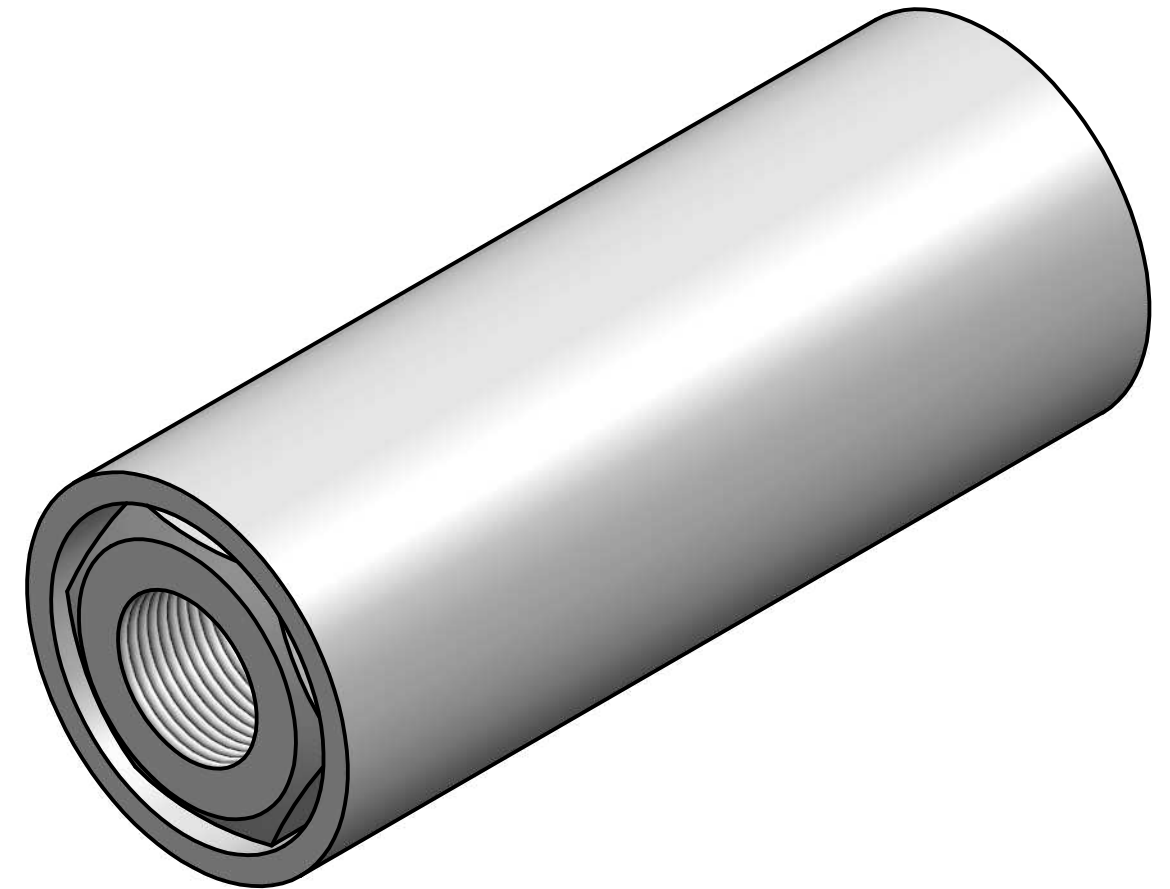
	Nombre	SOLID EDGE E.T.S.I. Universidad de Sevilla	
Dibujado	David Ruiz Verdute		
Comprobado	Aida Estevez Urra	Plano 3	
Salvo indicación contraria cotas en milímetros, ángulos en grado, tolerancias ±0,5 y ±1º		A3	Escala 3:1
		Archivo: CilindroAjuRos.dft	
		Pieza: CilindroAjusteRosca	



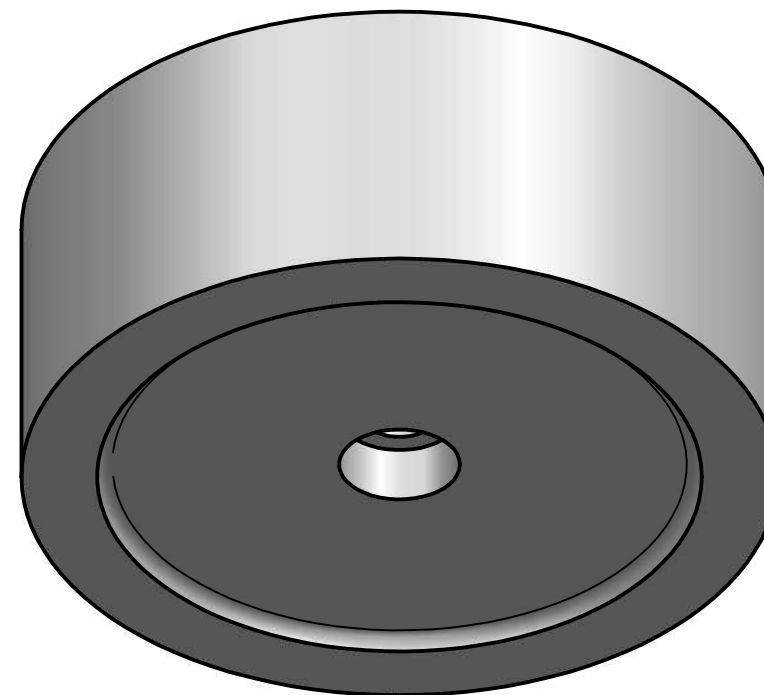
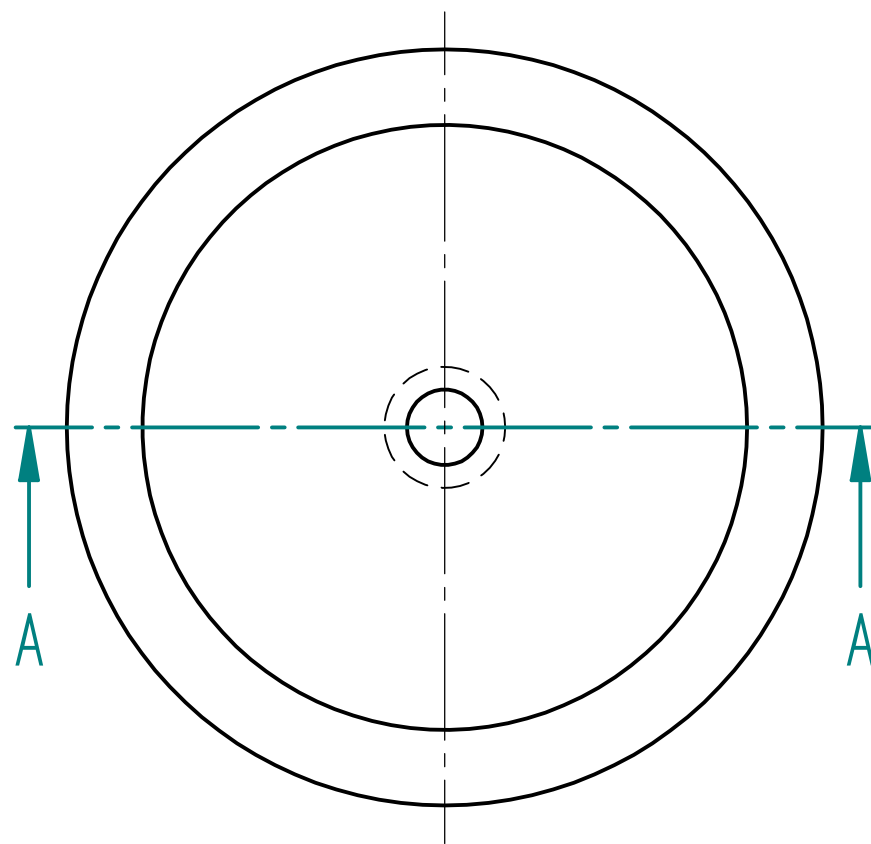
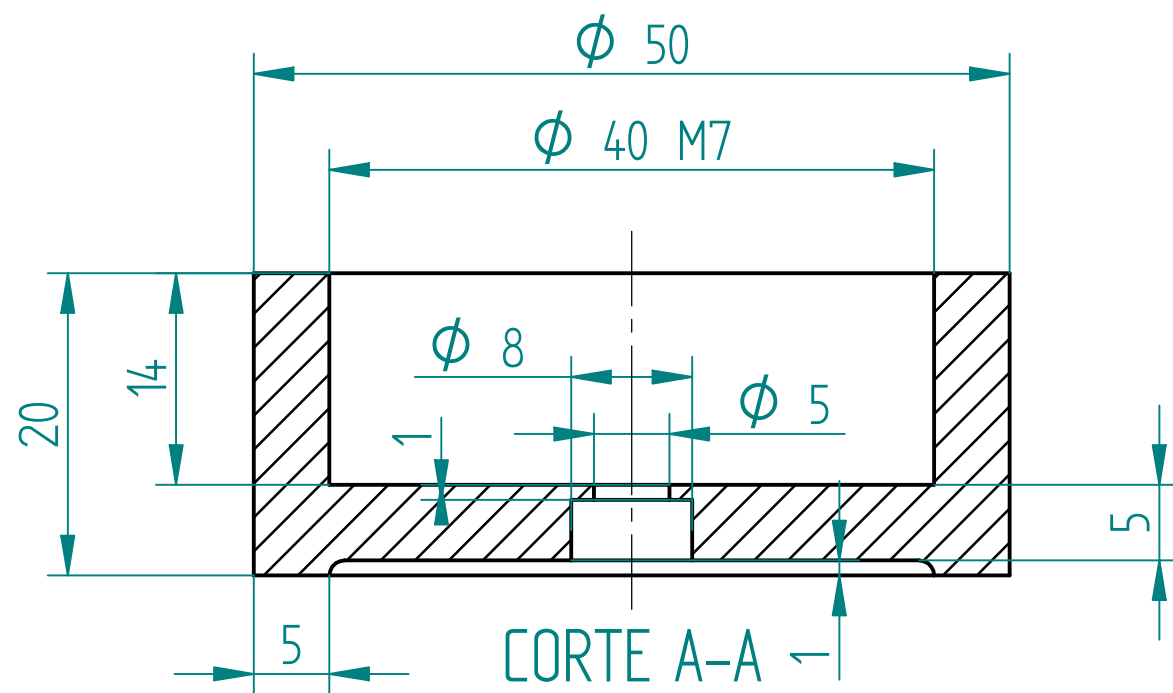
	Nombre	SOLID EDGE E.T.S.I. Universidad de Sevilla	
Dibujado	David Ruiz Verdute		
Comprobado	Aida Estevez Urra	Plano 4	
Salvo indicación contraria cotas en milímetros, ángulos en grado, tolerancias ±0,5 y ±1º		A3	Escala 3:1
		Archivo: PlatoInfSold.dft	
		Pieza: Plato Inferior	



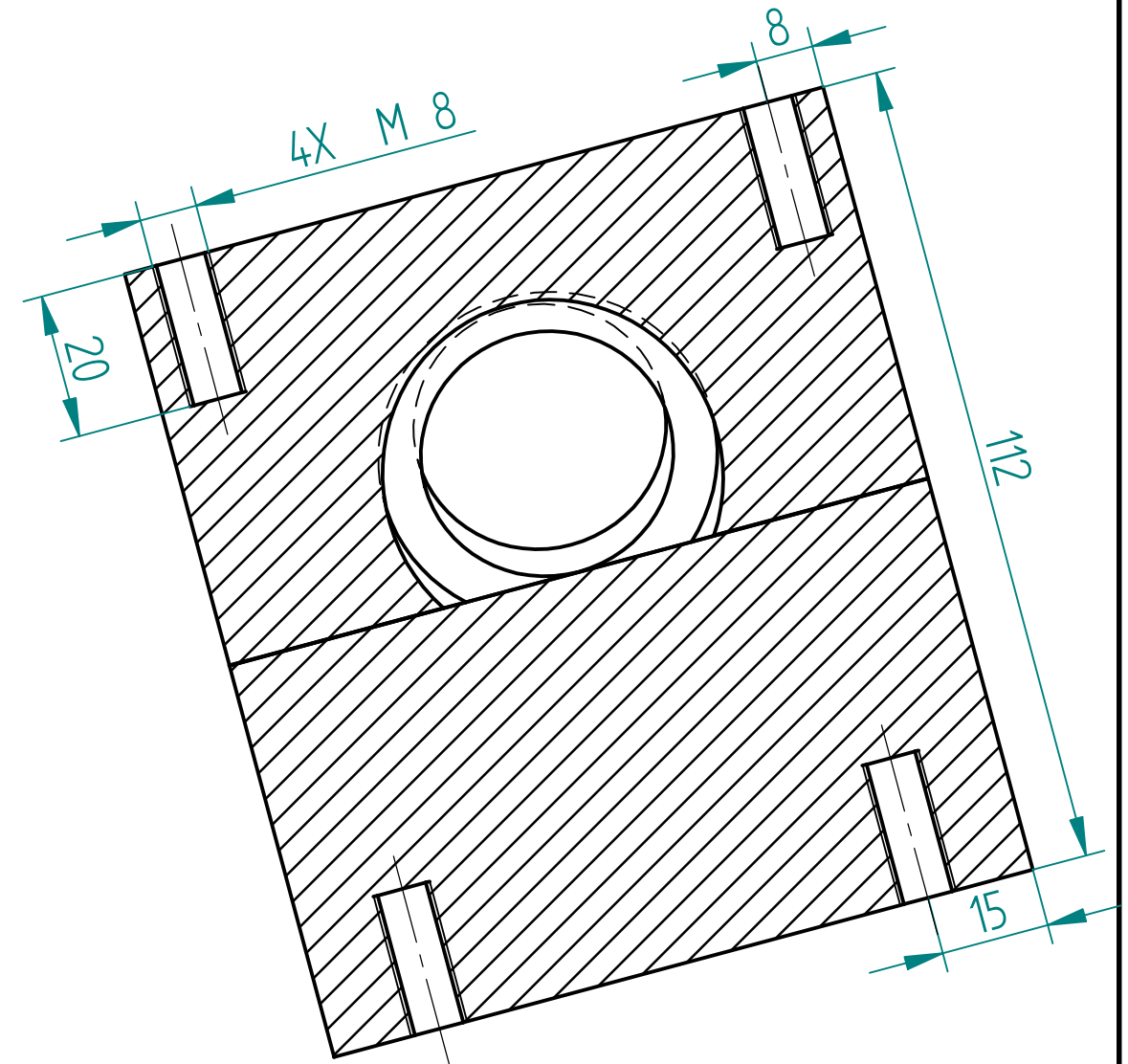
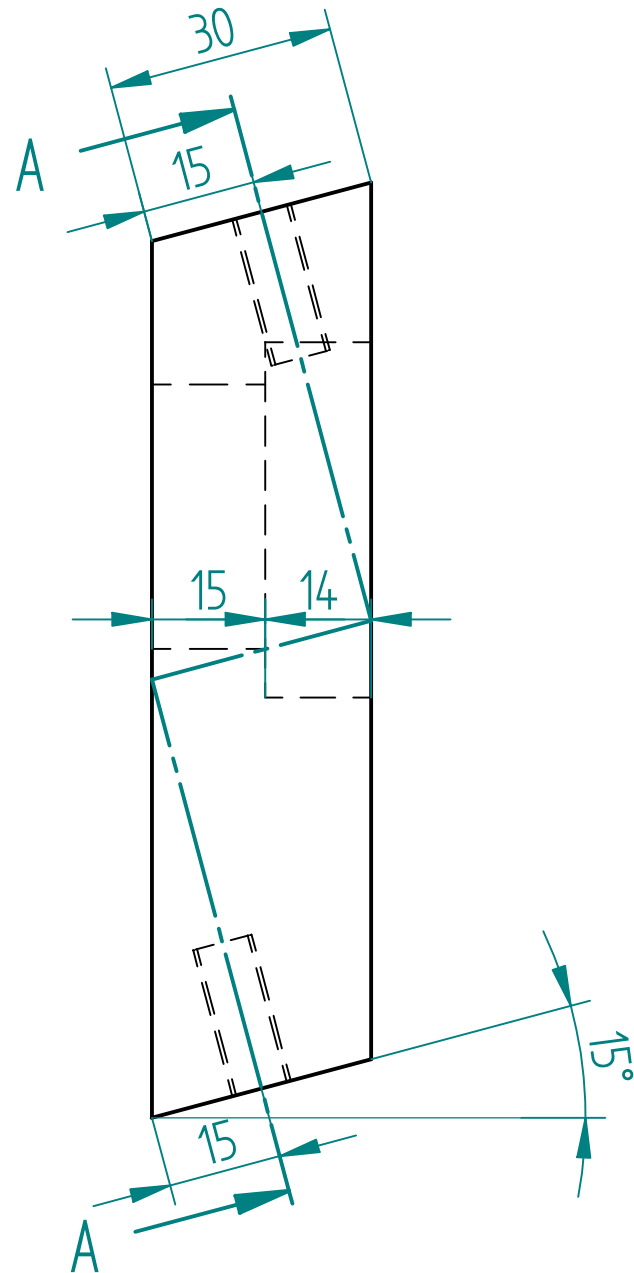
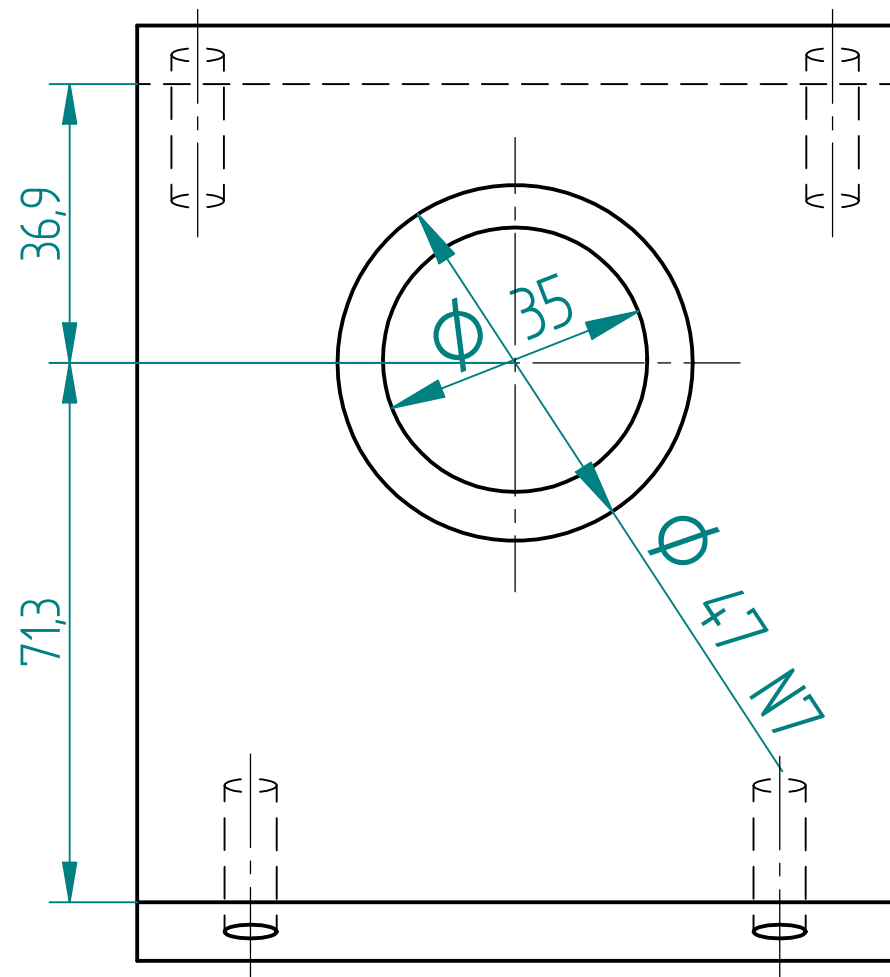
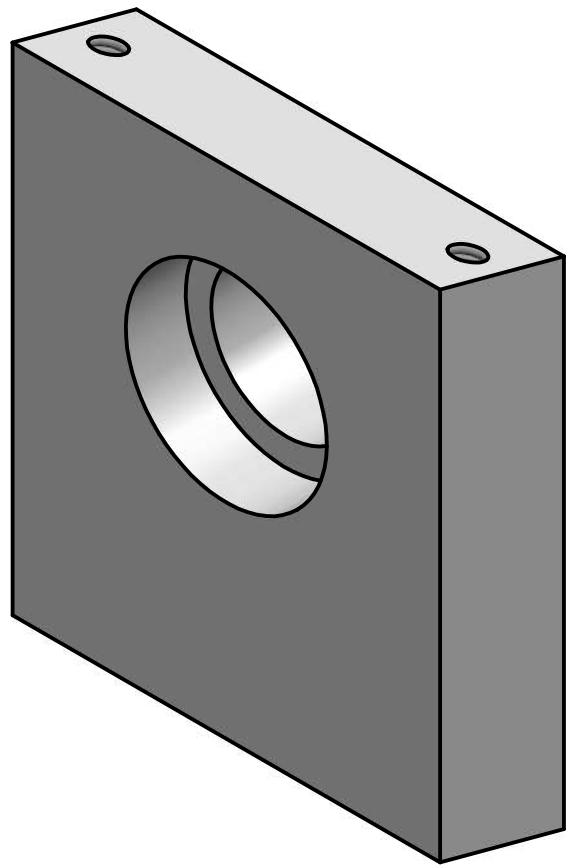
	Nombre	<h1>SOLID EDGE</h1> <p>E.T.S.I. Universidad de Sevilla</p>	
Dibujado	David Ruiz Verdute		
Comprobado	Aida Estevez Urrea	Plano 5	
Salvo indicación contraria cotas en milímetros, ángulos en grado, tolerancias $\pm 0,5$ y $\pm 1^0$		A3	Escala 1:1
		Archivo: TornilloVolante.dft	
		Pieza: Tornillo con volante	



	Nombre	<h1>SOLID EDGE</h1> <p>E.T.S.I. Universidad de Sevilla</p>	
Dibujado	David Ruiz Verdute		
Comprobado	Aida Estevez Urra	Plano 6	
Salvo indicación contraria cotas en milímetros, ángulos en grado, tolerancias $\pm 0,5$ y $\pm 1^0$		A3	Escala 1,5:1
		Archivo: CasquilloSold.dft	
		Pieza: Casquillo	

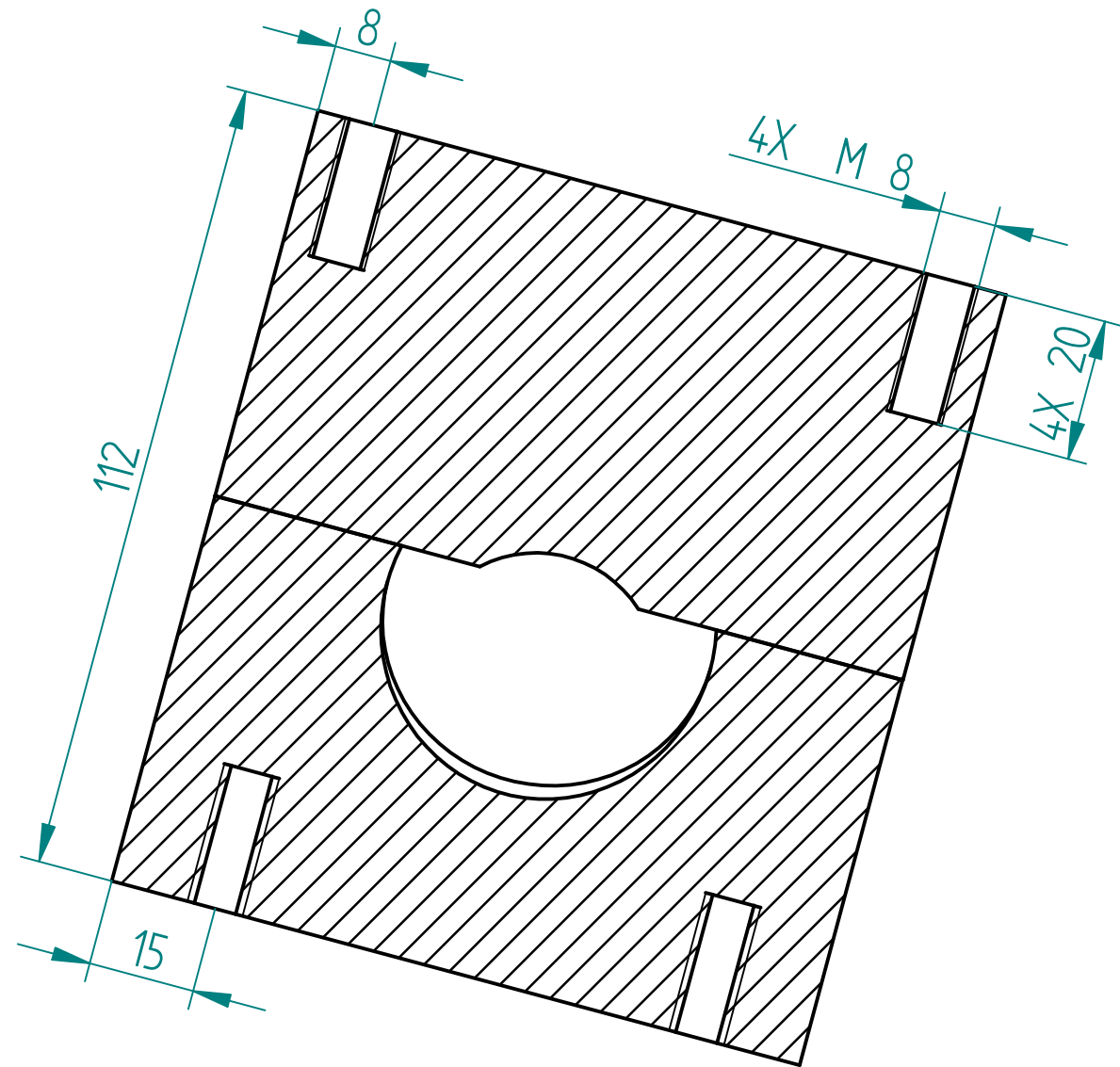
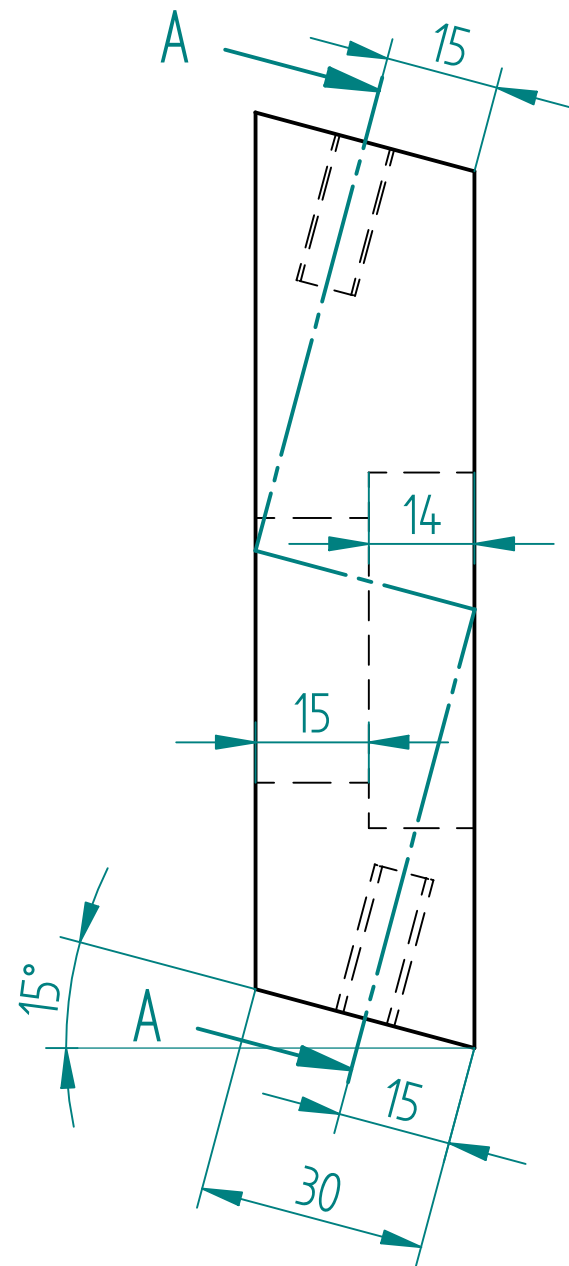
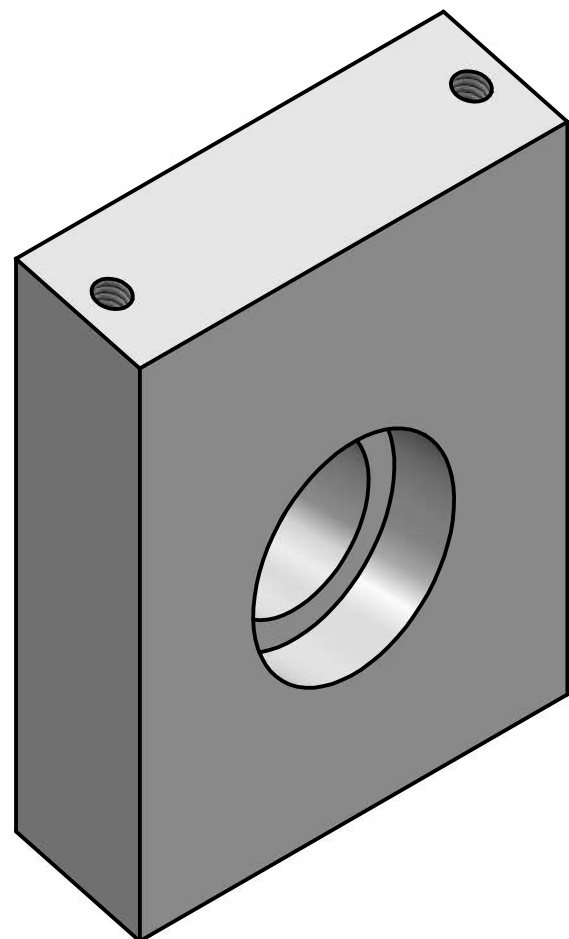
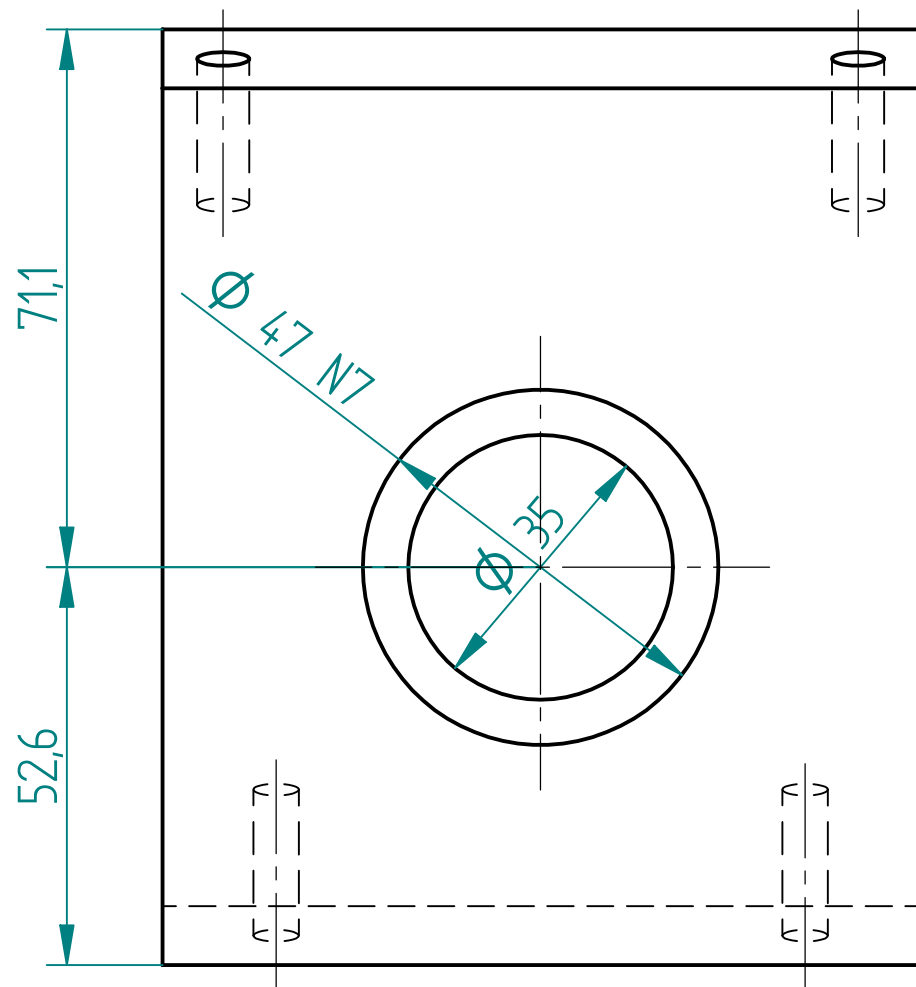


	Nombre	SOLID EDGE E.T.S.I. Universidad de Sevilla	
Dibujado	David Ruiz Verdute		
Comprobado	Aida Estevez Urra	Plano 7	
Salvo indicación contraria cotas en milímetros, ángulos en grado, tolerancias $\pm 0,5$ y $\pm 1^\circ$		A3	Escala 2:1
		Archivo: Plato_sup.dft	
		Pieza: Plato superior	



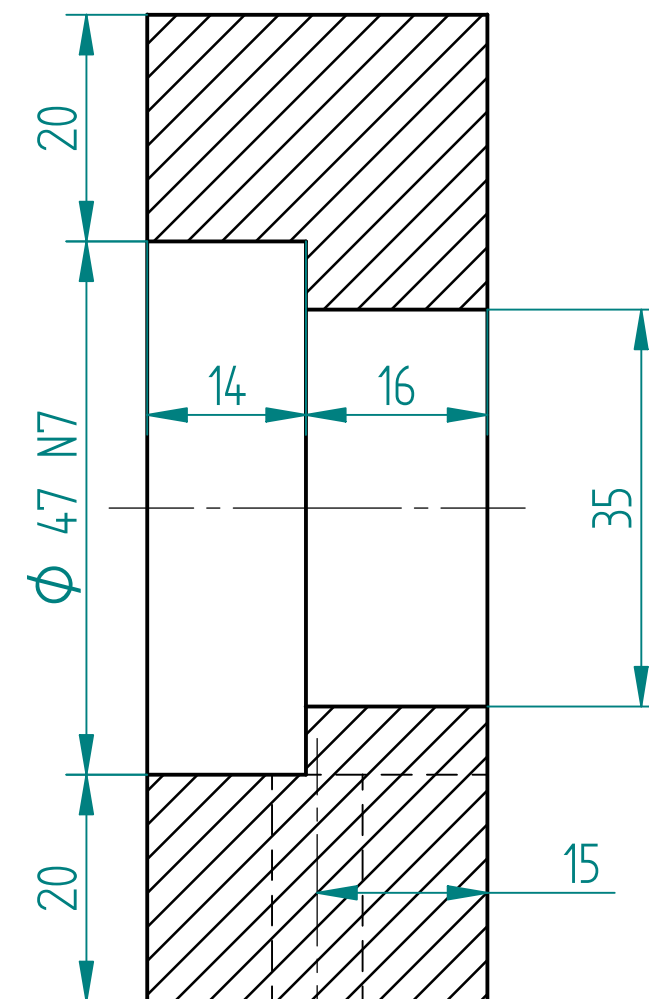
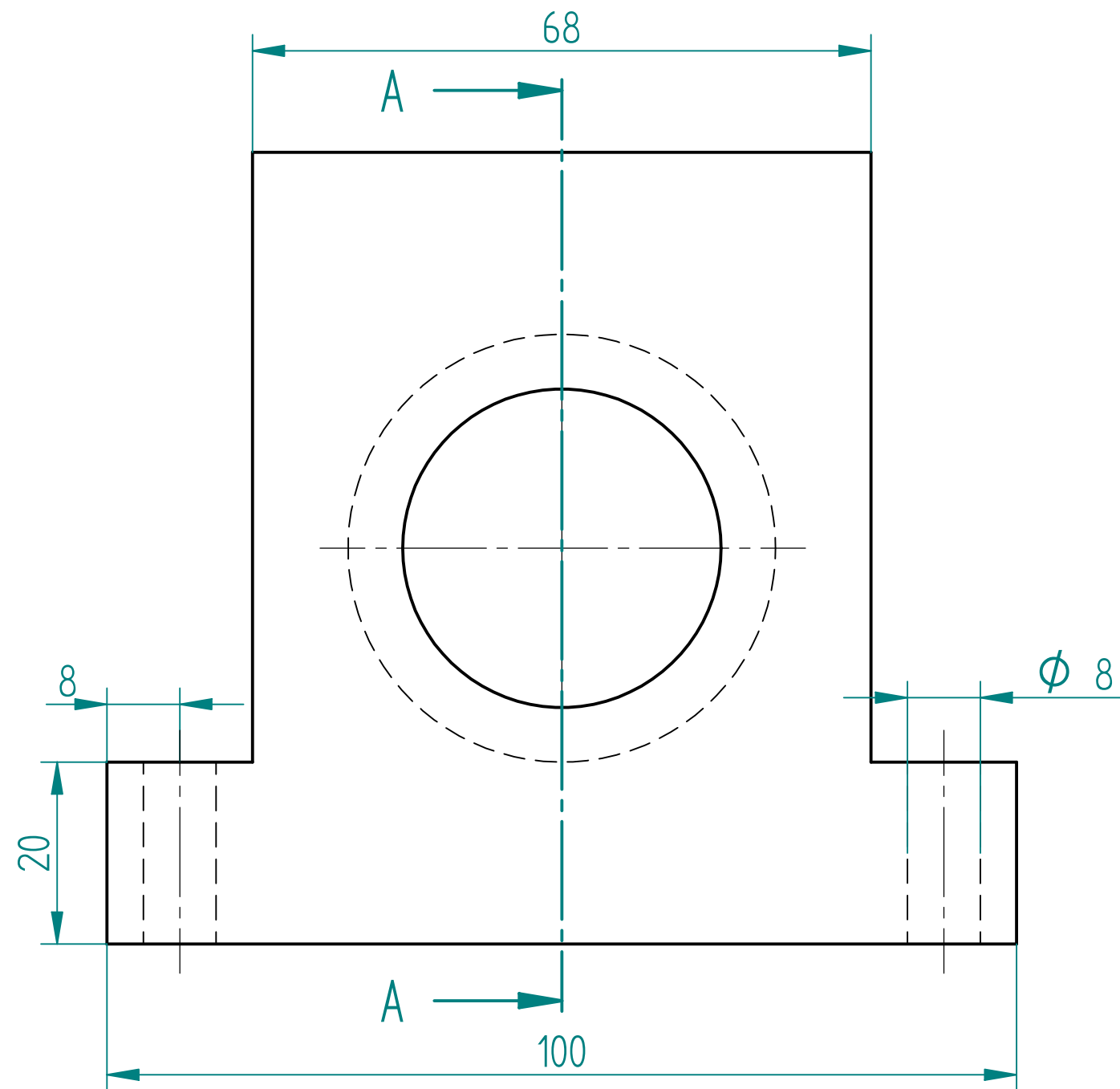
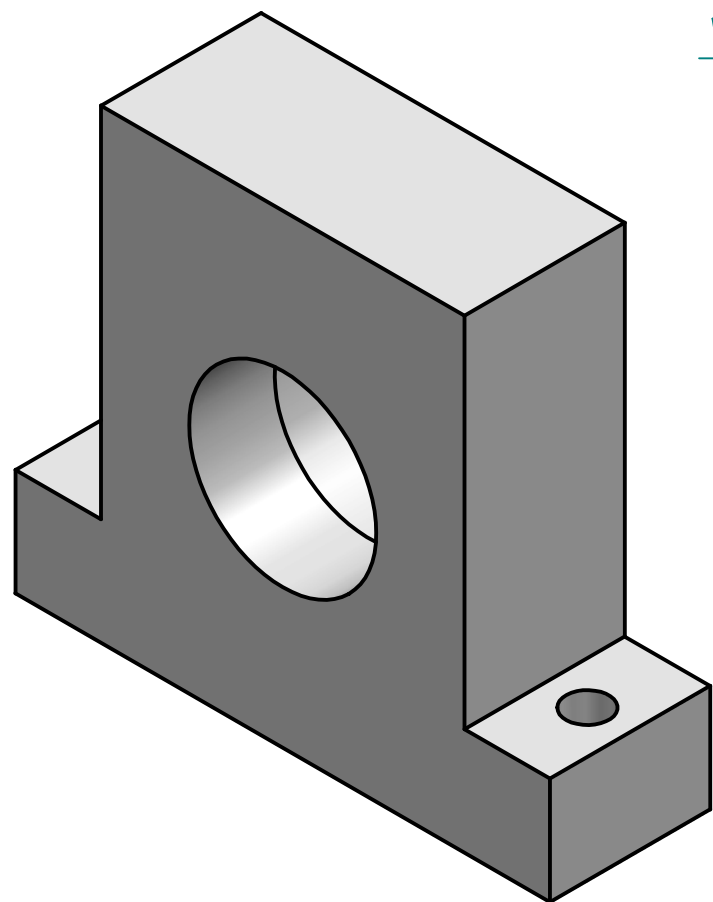
CORTE A-A

Nombre		SOLID EDGE E.T.S.I. Universidad de Sevilla	
Dibujado	David Ruiz Verdute		
Comprobado	Aida Estevez Urra	Plano 8	
Salvo indicación contraria cotas en milímetros, ángulos en grado, tolerancias $\pm 0,5$ y $\pm 1^\circ$		A3	Escala 1:1
		Archivo: Torre1Inf.dft	
		Pieza: Torre 1 Part. Inferior	



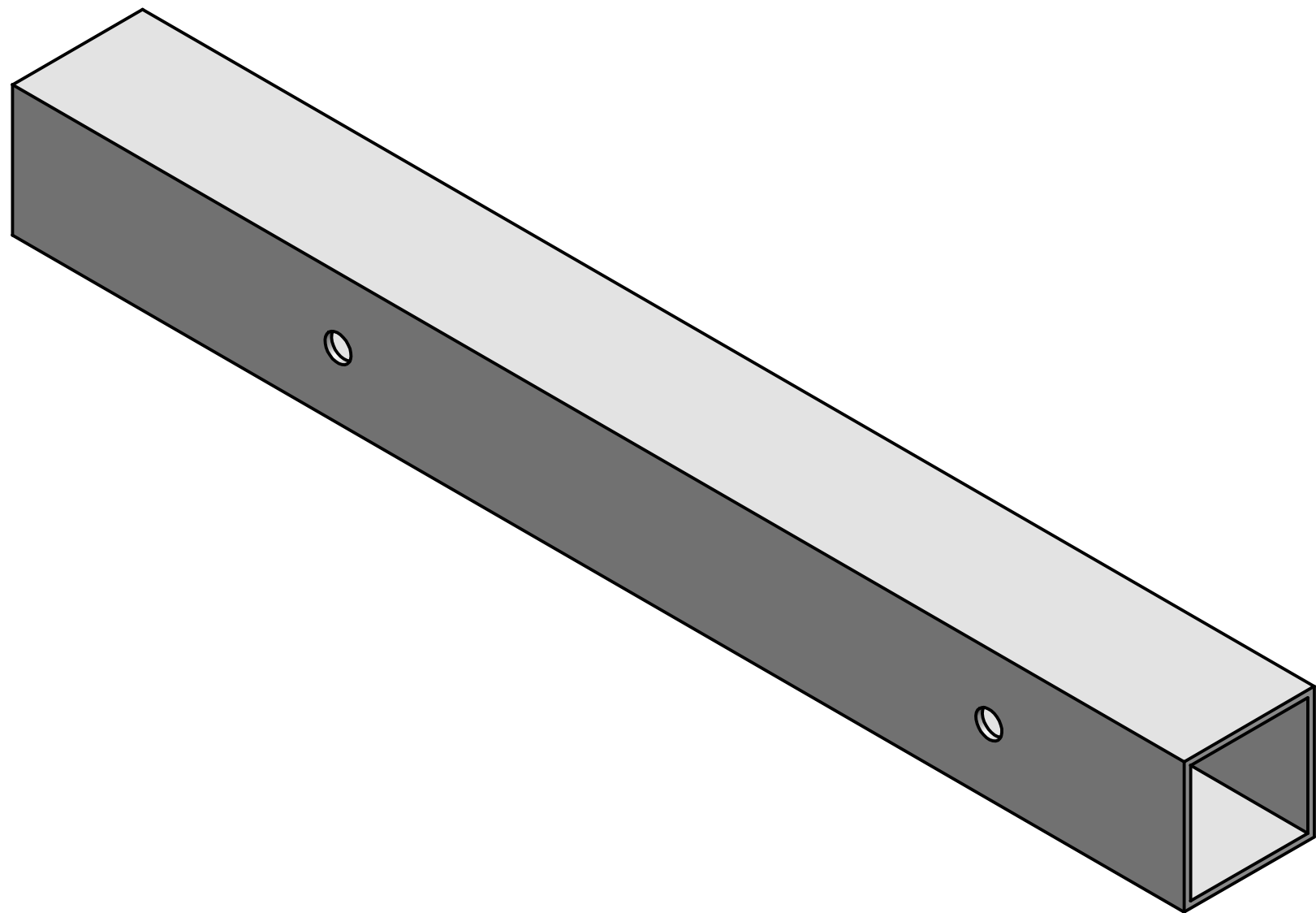
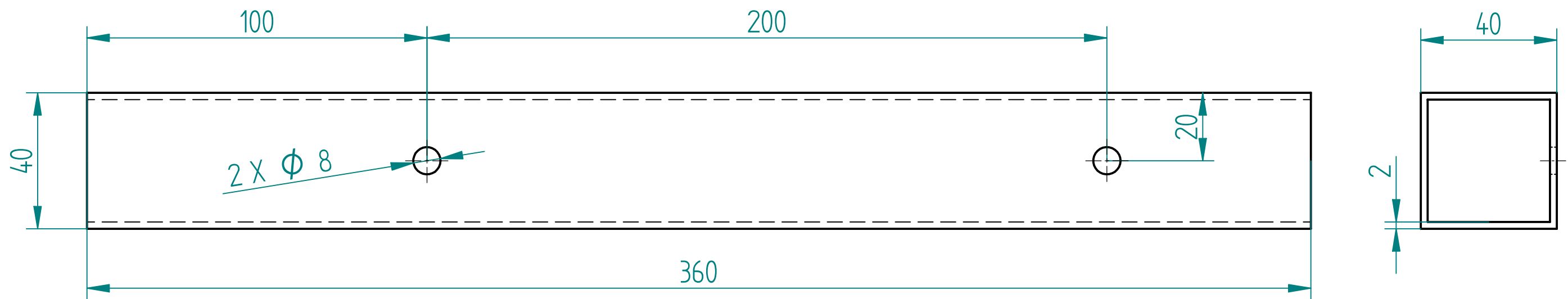
CORTE A-A

	Nombre	SOLID EDGE	
Dibujado	David Ruiz Verdute	E.T.S.I. Universidad de Sevilla	
Comprobado	Aida Estevez Urra	Plano 9	
Salvo indicación contraria cotas en milímetros, ángulos en grado, tolerancias $\pm 0,5$ y $\pm 1^\circ$		A3	Escala 1:1
		Archivo: Torre2Inf.dft	
		Pieza: Torre 2 Part. Inferior	

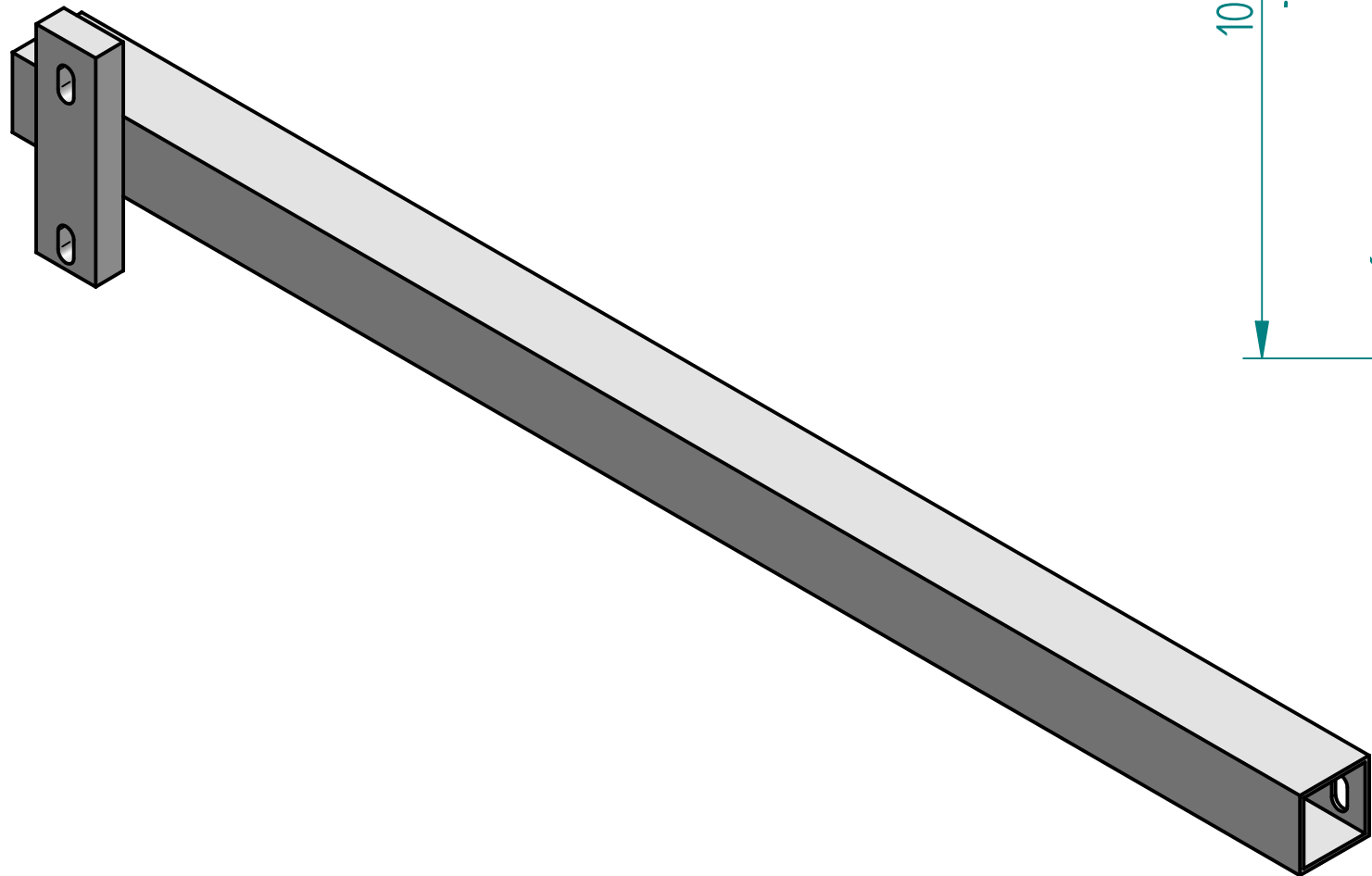
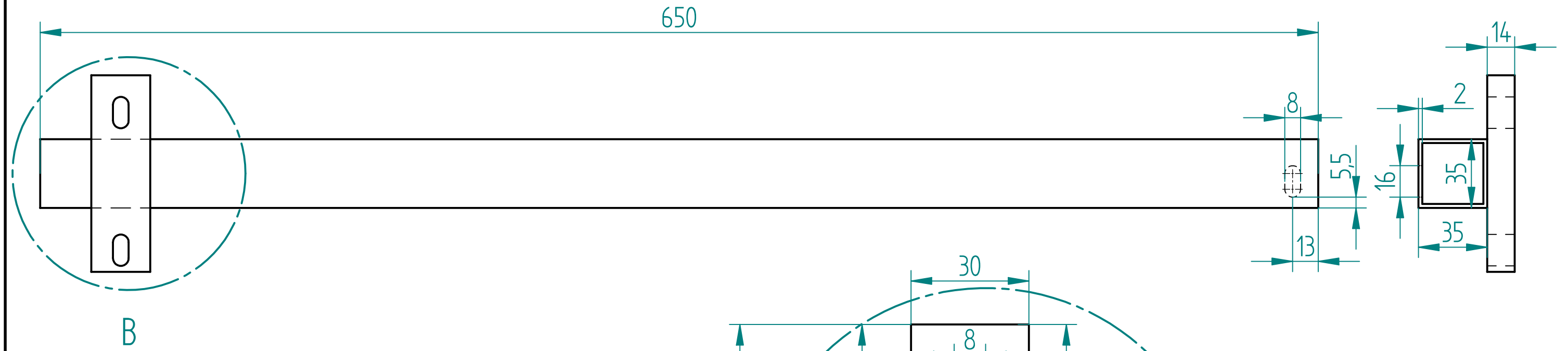


CORTE A-A

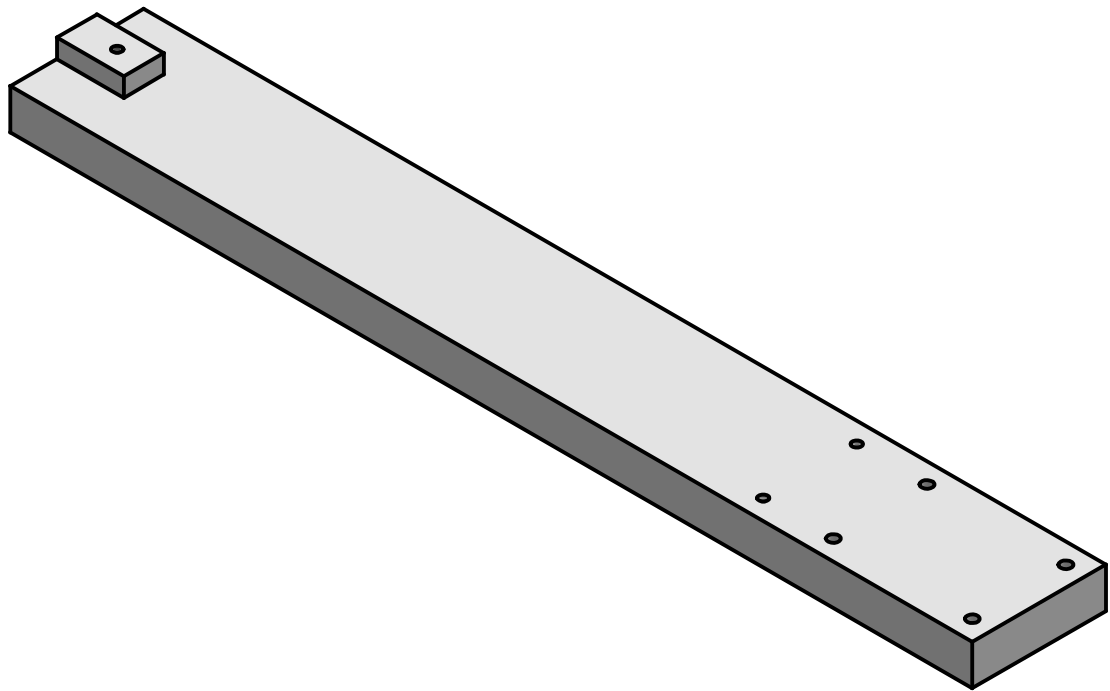
		Nombre	SOLID EDGE E.T.S.I. Universidad de Sevilla	
Dibujado	David Ruiz Verdute			
Comprobado	Aida Estevez Urra		Plano 10	
Salvo indicación contraria cotas en milímetros, ángulos en grado, tolerancias $\pm 0,5$ y $\pm 1^\circ$		A3	Escala 1,5:1	
			Archivo: Torre1y2Sup.dft	
			Pieza: Torre 1 y 2 Part. Superiores	



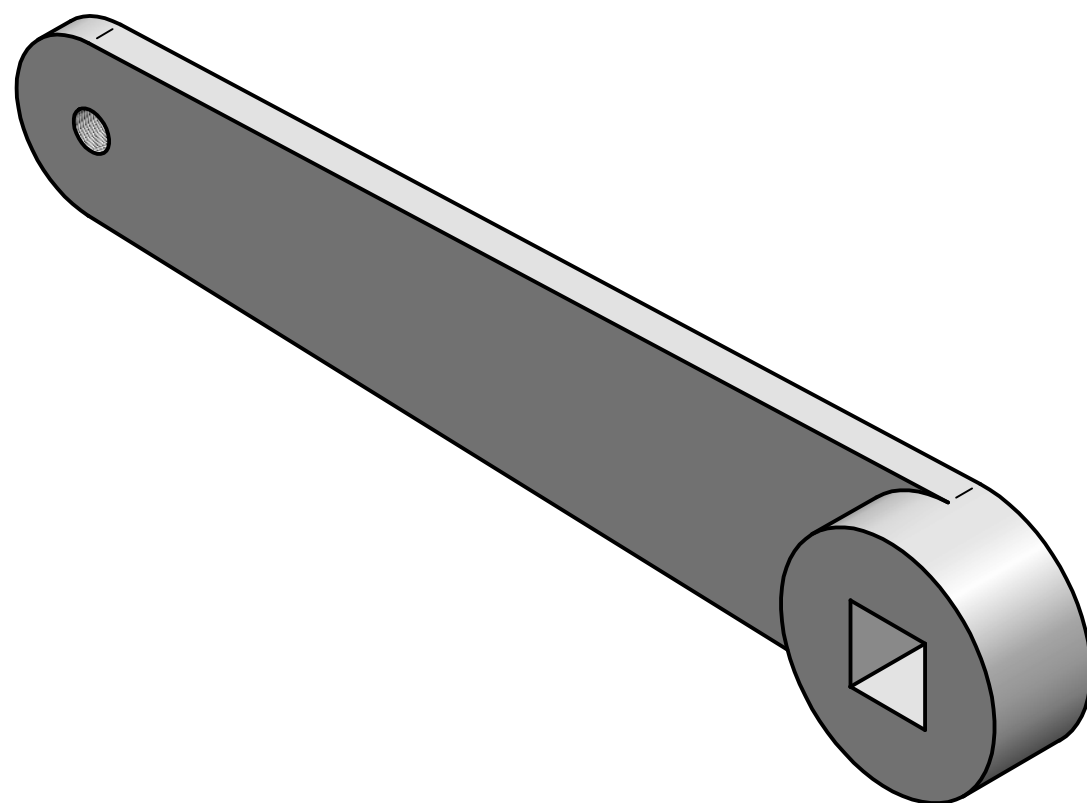
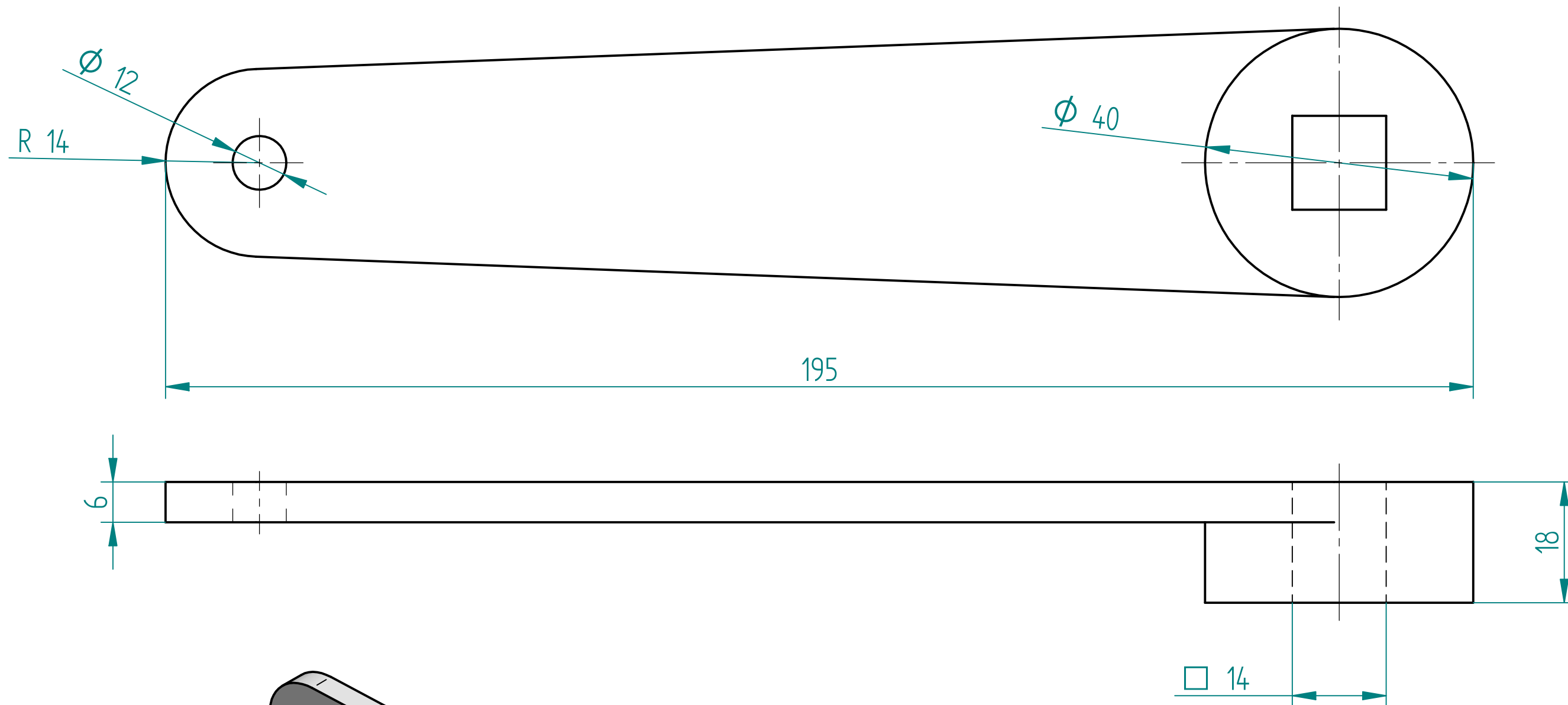
	Nombre	SOLID EDGE E.T.S.I. Universidad de Sevilla	
Dibujado	David Ruiz Verdute		
Comprobado	Aida Estevez Urra	Plano 11	
Salvo indicación contraria cotas en milímetros, ángulos en grado, tolerancias ±0,5 y ±1º		A3	Escala 1:1,25
		Archivo: Barra_Corredera.dft	
		Pieza: Barra Corredera	



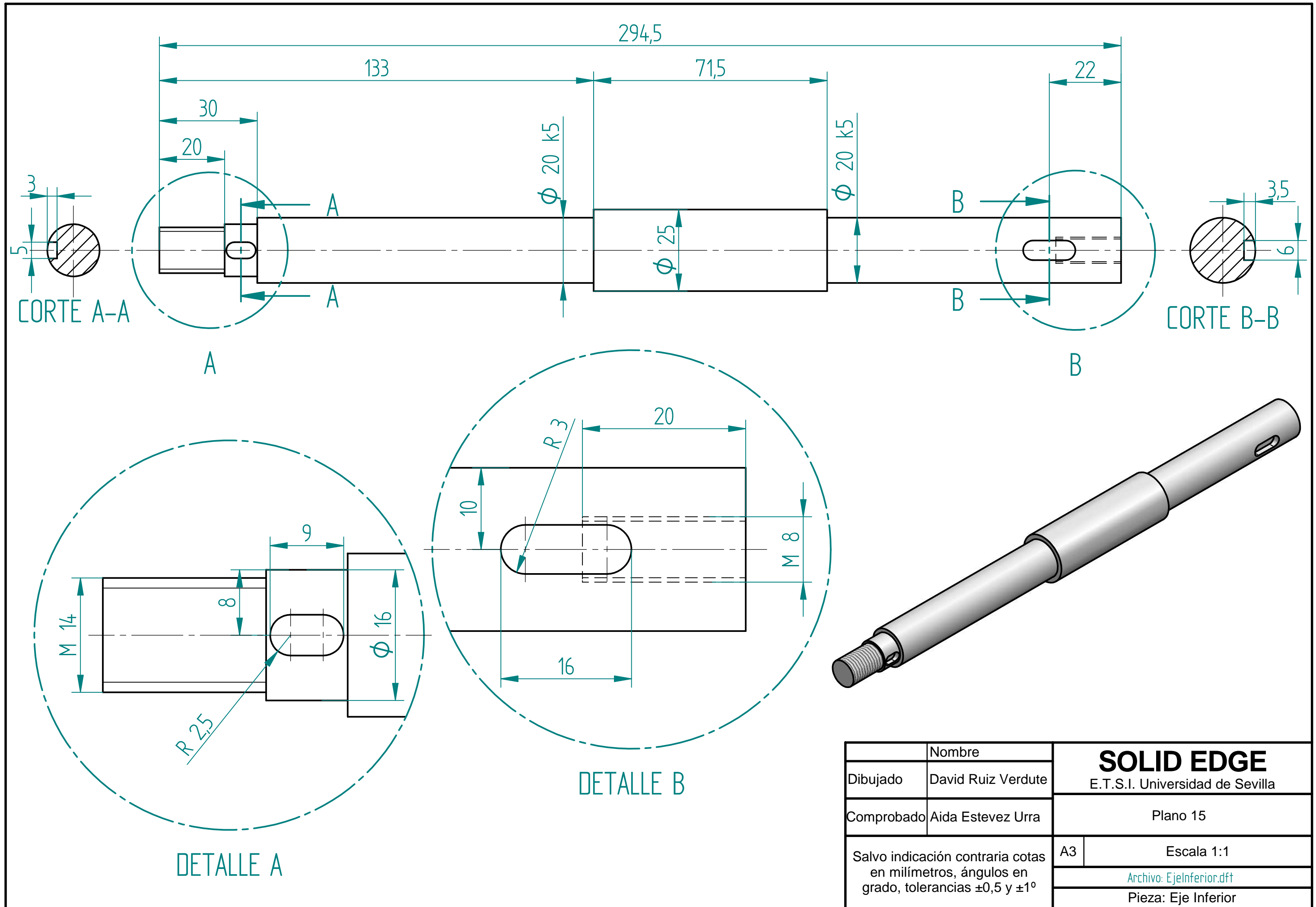
		Nombre	SOLID EDGE E.T.S.I. Universidad de Sevilla	
Dibujado	David Ruiz Verdute			
Comprobado	Aida Estevez Urra		Plano 12	
Salvo indicación contraria cotas en milímetros, ángulos en grado, tolerancias $\pm 0,5$ y $\pm 1^\circ$		A3	Escala 1:2	
			Archivo: Barra_Fija.dft	
			Pieza: Barra Fija	



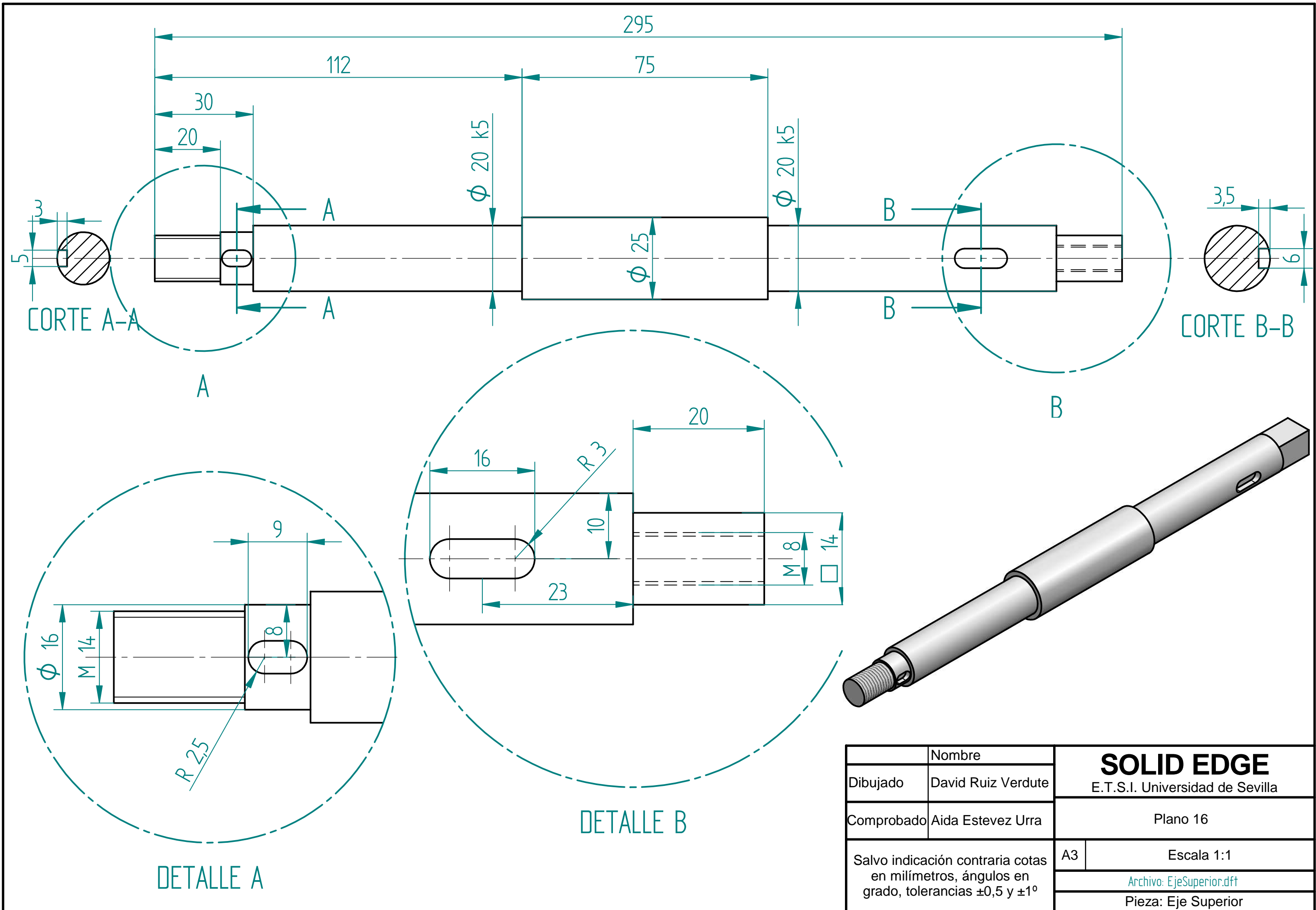
	Nombre	<h1>SOLID EDGE</h1> <p>E.T.S.I. Universidad de Sevilla</p>	
Dibujado	David Ruiz Verdute		
Comprobado	Aida Estevez Urra	Plano 13	
Salvo indicación contraria cotas en milímetros, ángulos en grado, tolerancias $\pm 0,5$ y $\pm 1^{\circ}$		A3	Escala 1:2
		Archivo: Base.dft	
		Pieza: Base	

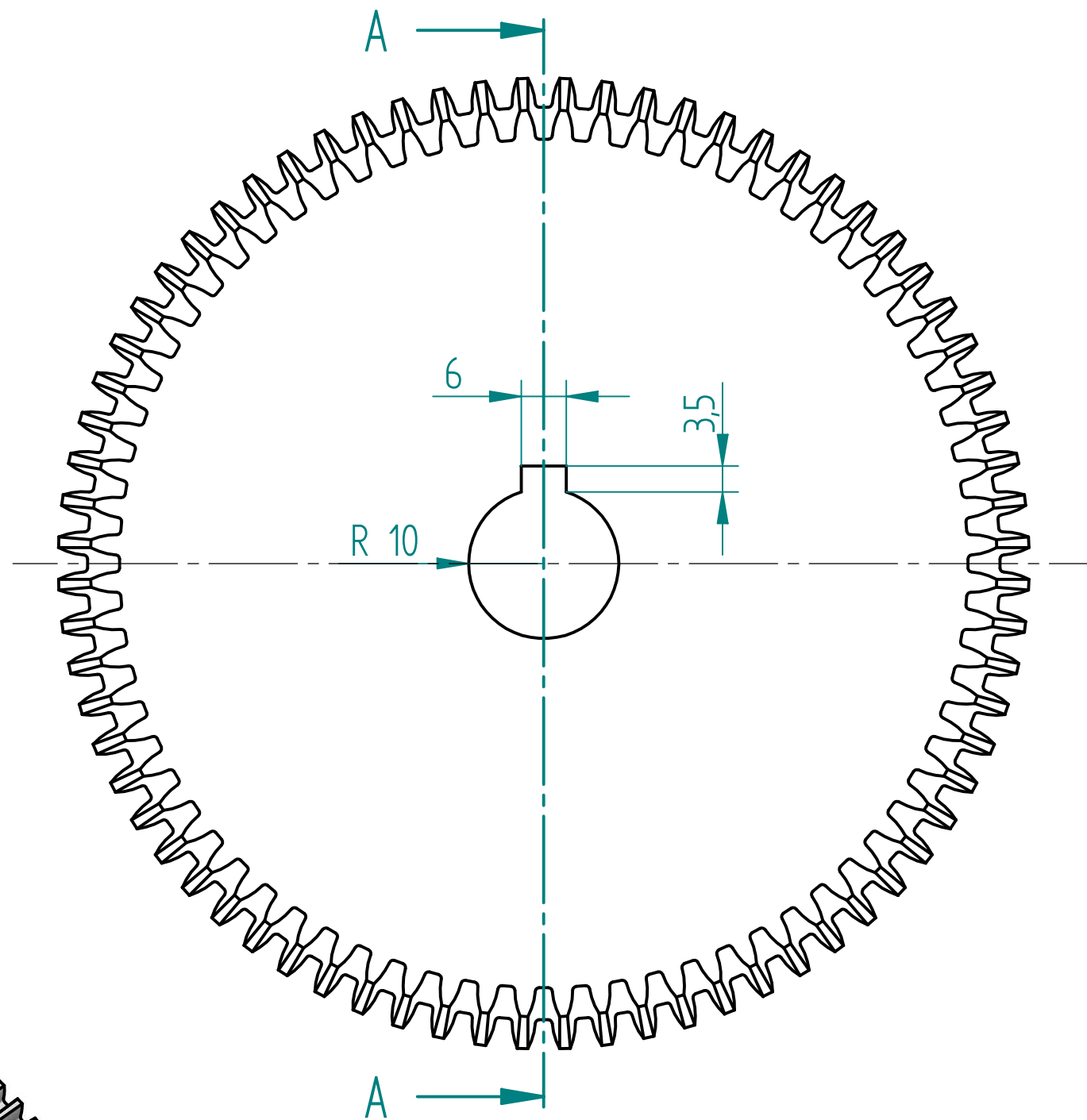


Nombre		SOLID EDGE E.T.S.I. Universidad de Sevilla	
Dibujado	David Ruiz Verdute		
Comprobado	Aida Estevez Urra	Plano 14	
Salvo indicación contraria cotas en milímetros, ángulos en grado, tolerancias $\pm 0,5$ y $\pm 1^\circ$		A3	Escala 1,5:1
		Archivo: Manivela.dft	
		Pieza: Manivela	

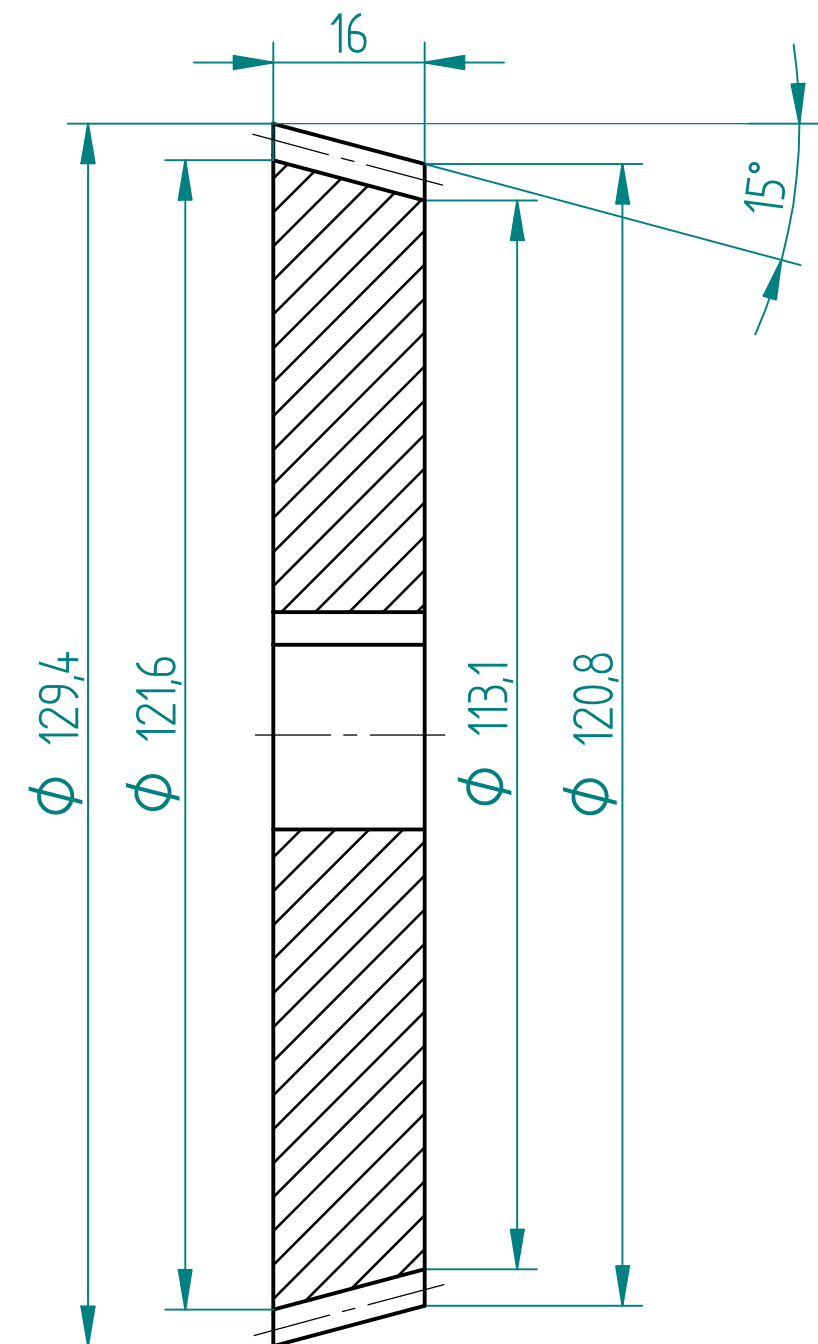


Nombre		SOLID EDGE E.T.S.I. Universidad de Sevilla	
Dibujado	David Ruiz Verdute		
Comprobado	Aida Estevez Urra	Plano 15	
Salvo indicación contraria cotas en milímetros, ángulos en grado, tolerancias $\pm 0,5$ y $\pm 1^\circ$		A3	Escala 1:1
		Archivo: EjeInferior.dft	
		Pieza: Eje Inferior	



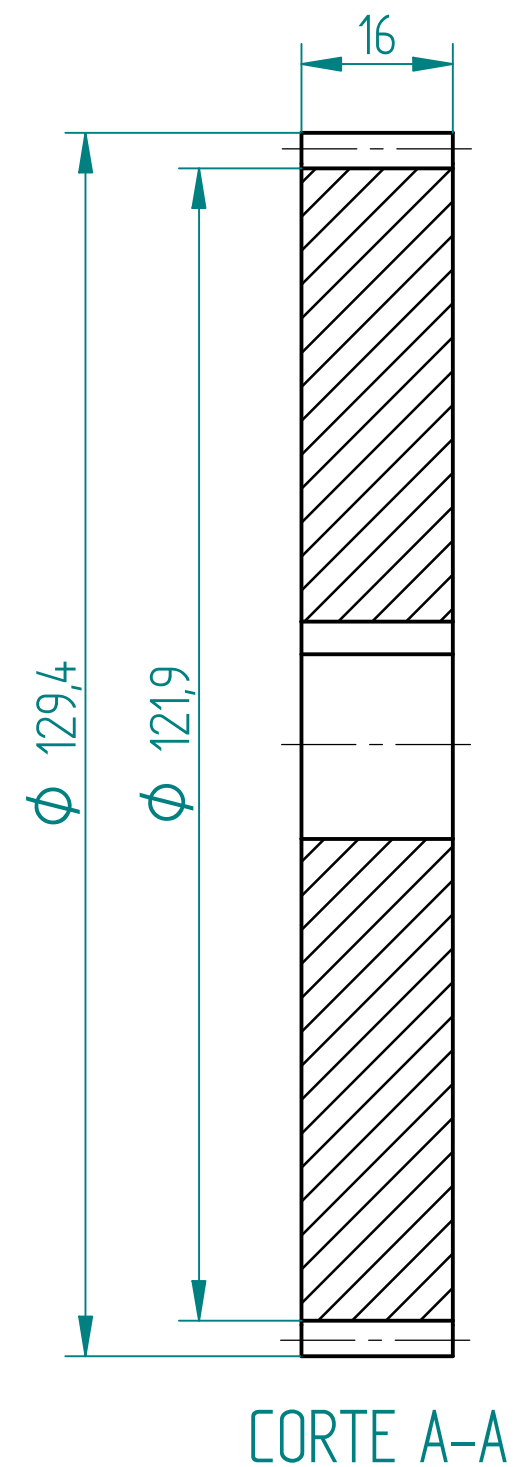
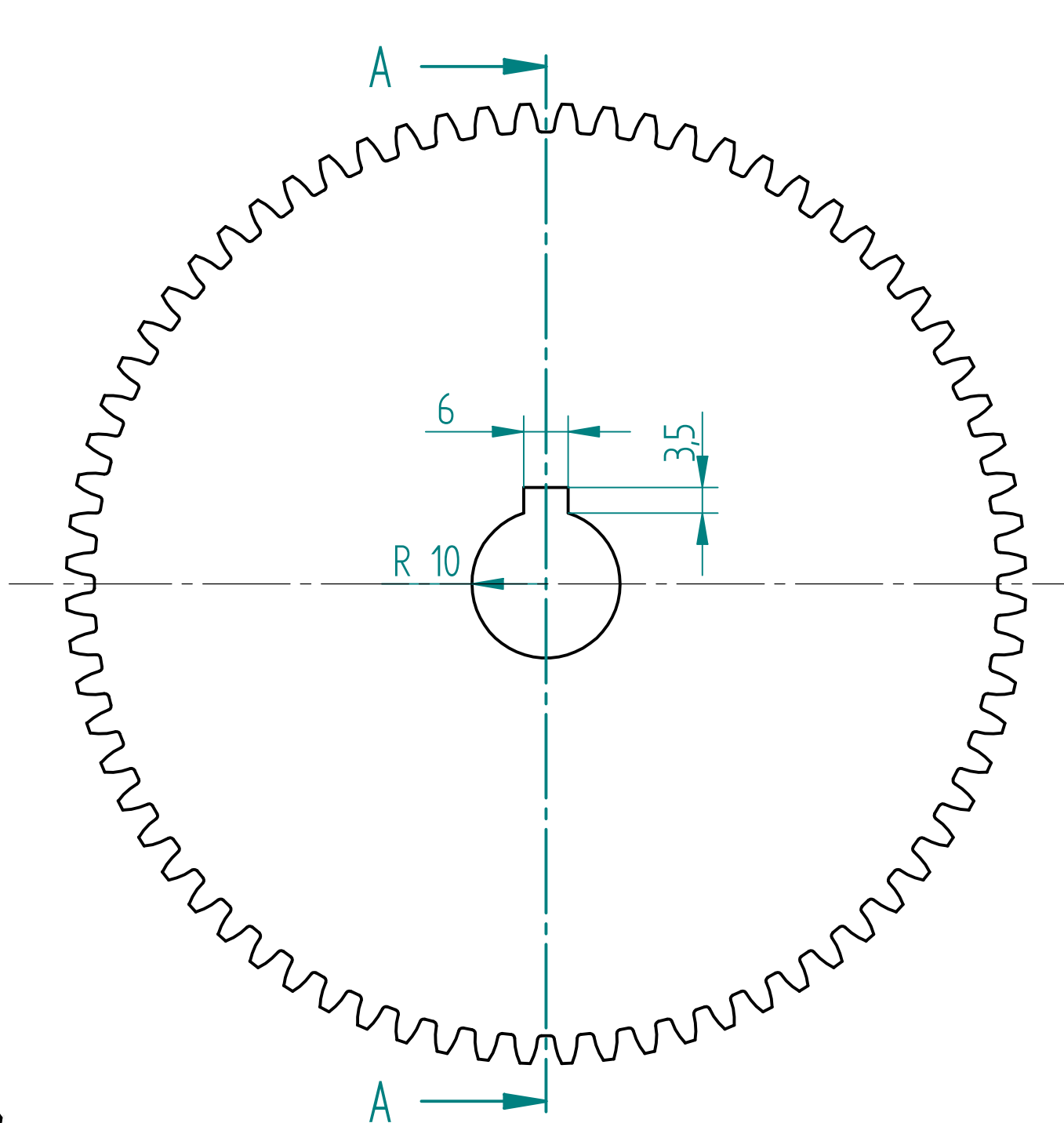
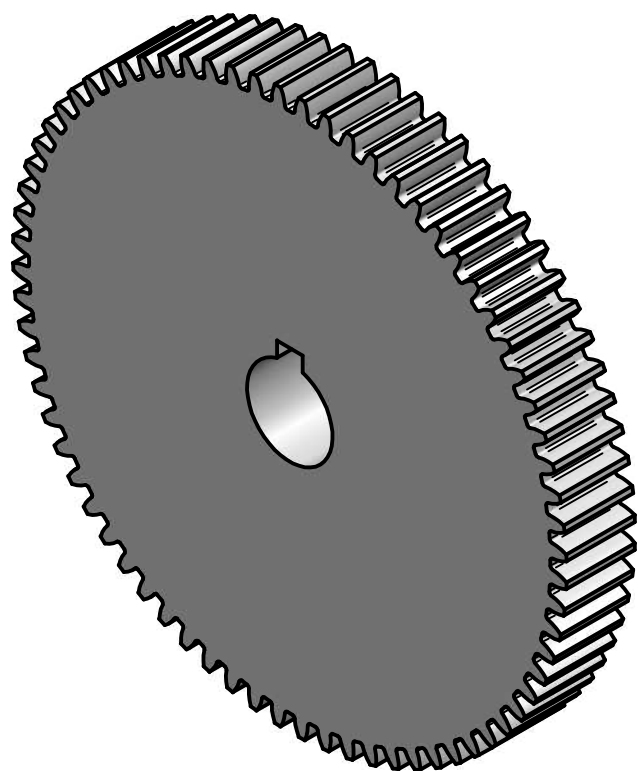


DATOS DE LA RUEDA DENTADA	
Módulo	1,75
Nº de dientes	72
Diámetro primitivo	126 mm



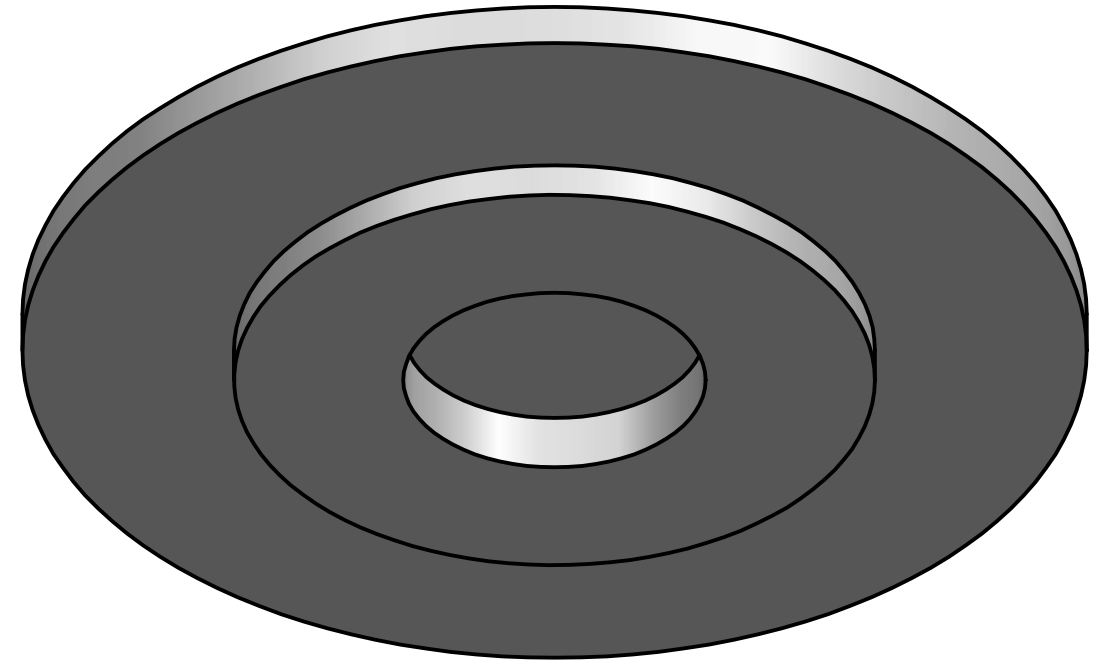
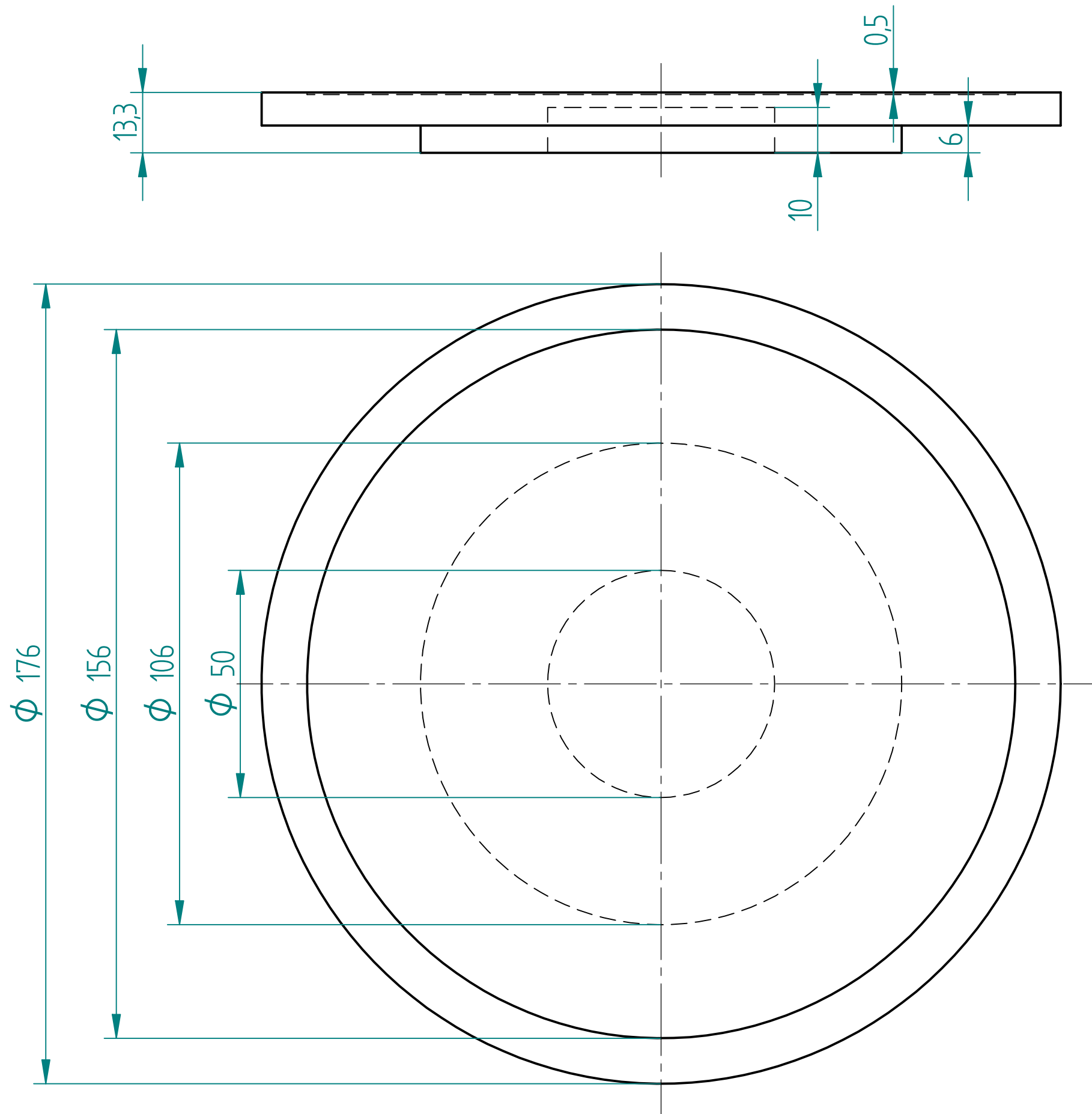
CORTE A-A

	Nombre	SOLID EDGE	
Dibujado	David Ruiz Verdute	E.T.S.I. Universidad de Sevilla	
Comprobado	Aida Estevez Urra	Plano 17	
Salvo indicación contraria cotas en milímetros, ángulos en grado, tolerancias $\pm 0,5$ y $\pm 1^\circ$		A3	Escala 1,25:1
		Archivo: Engranaje_inf.dft	
		Pieza: Rueda dentada inferior	

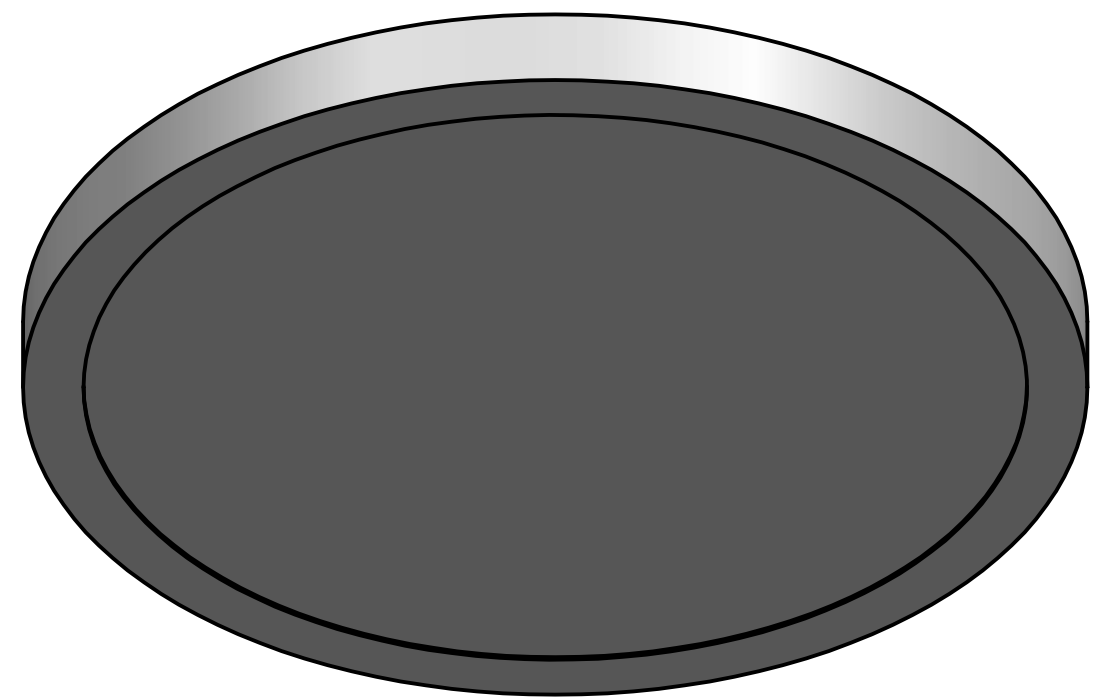
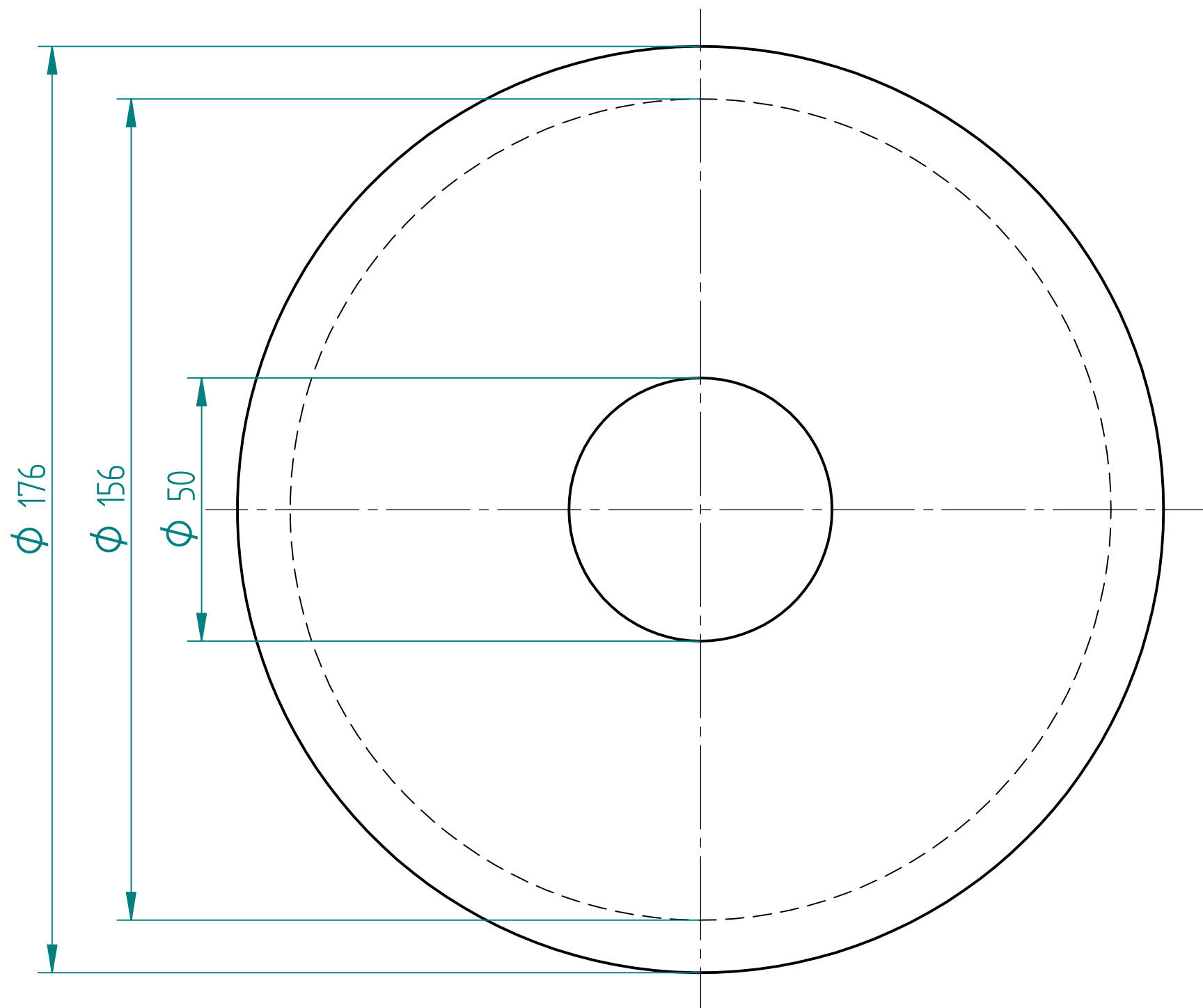
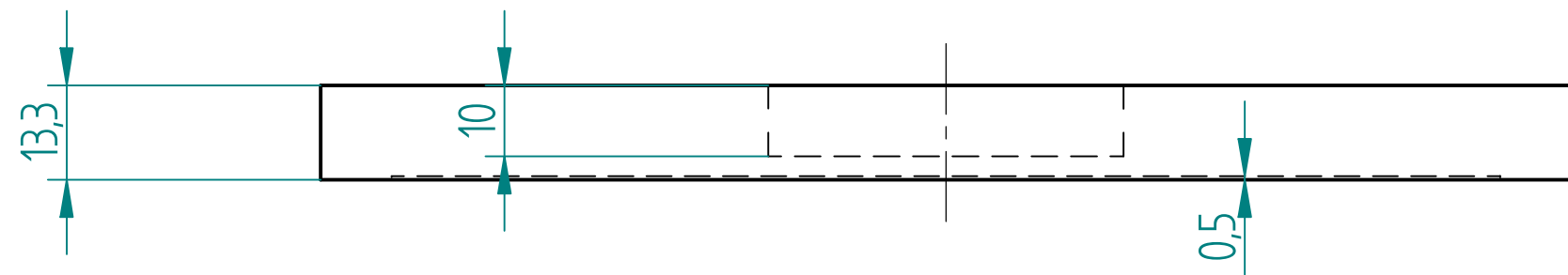


DATOS DE LA RUEDA DENTADA	
Módulo	1,75
Nº de dientes	72
Diámetro primitivo	126 mm

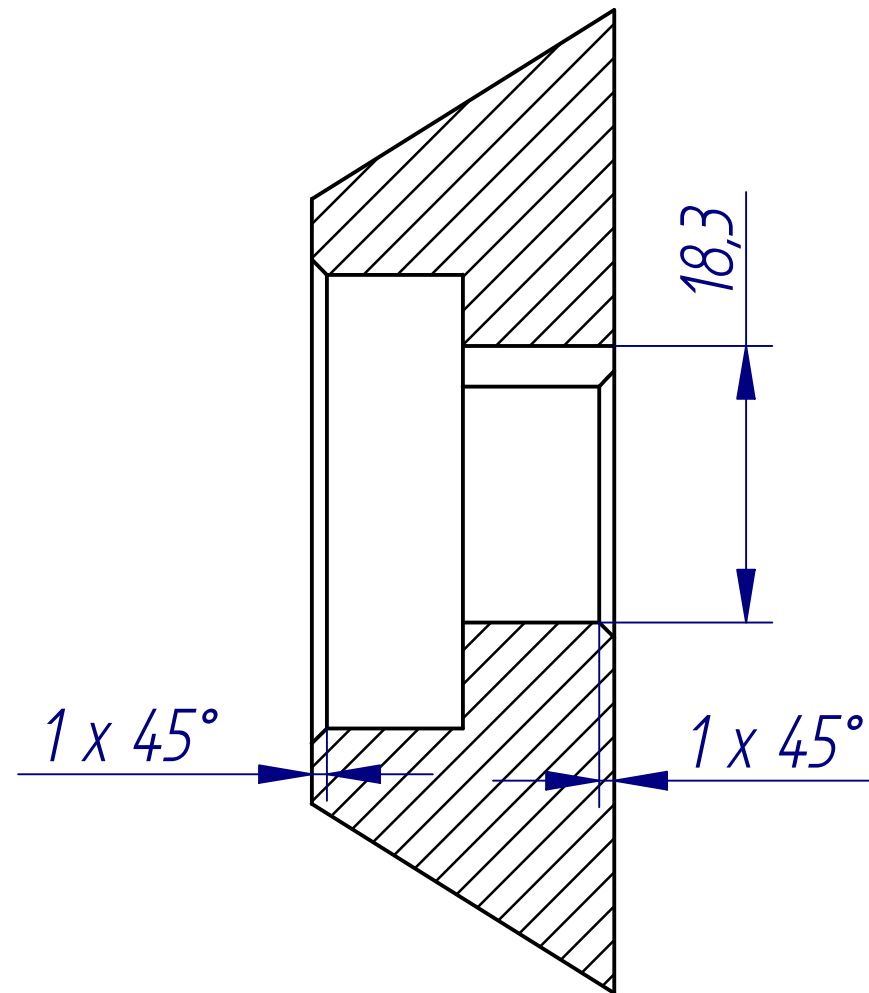
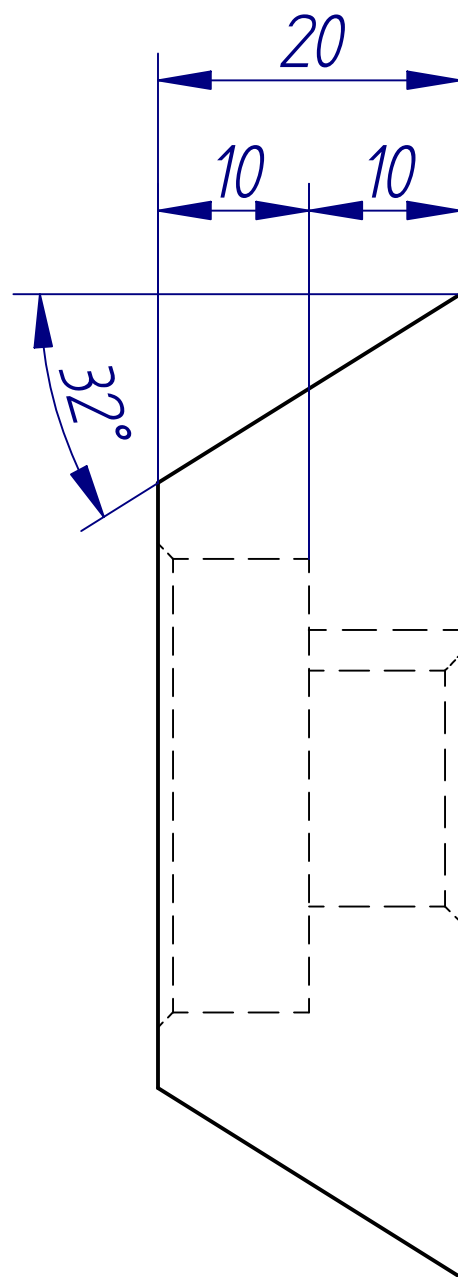
	Nombre	SOLID EDGE	
Dibujado	David Ruiz Verdute	E.T.S.I. Universidad de Sevilla	
Comprobado	Aida Estevez Urrea	Plano 18	
Salvo indicación contraria cotas en milímetros, ángulos en grado, tolerancias $\pm 0,5$ y $\pm 1^\circ$		A3	Escala 1,25:1
		Archivo: Engranaje_sup.dft	
		Pieza: Rueda dentada superior	



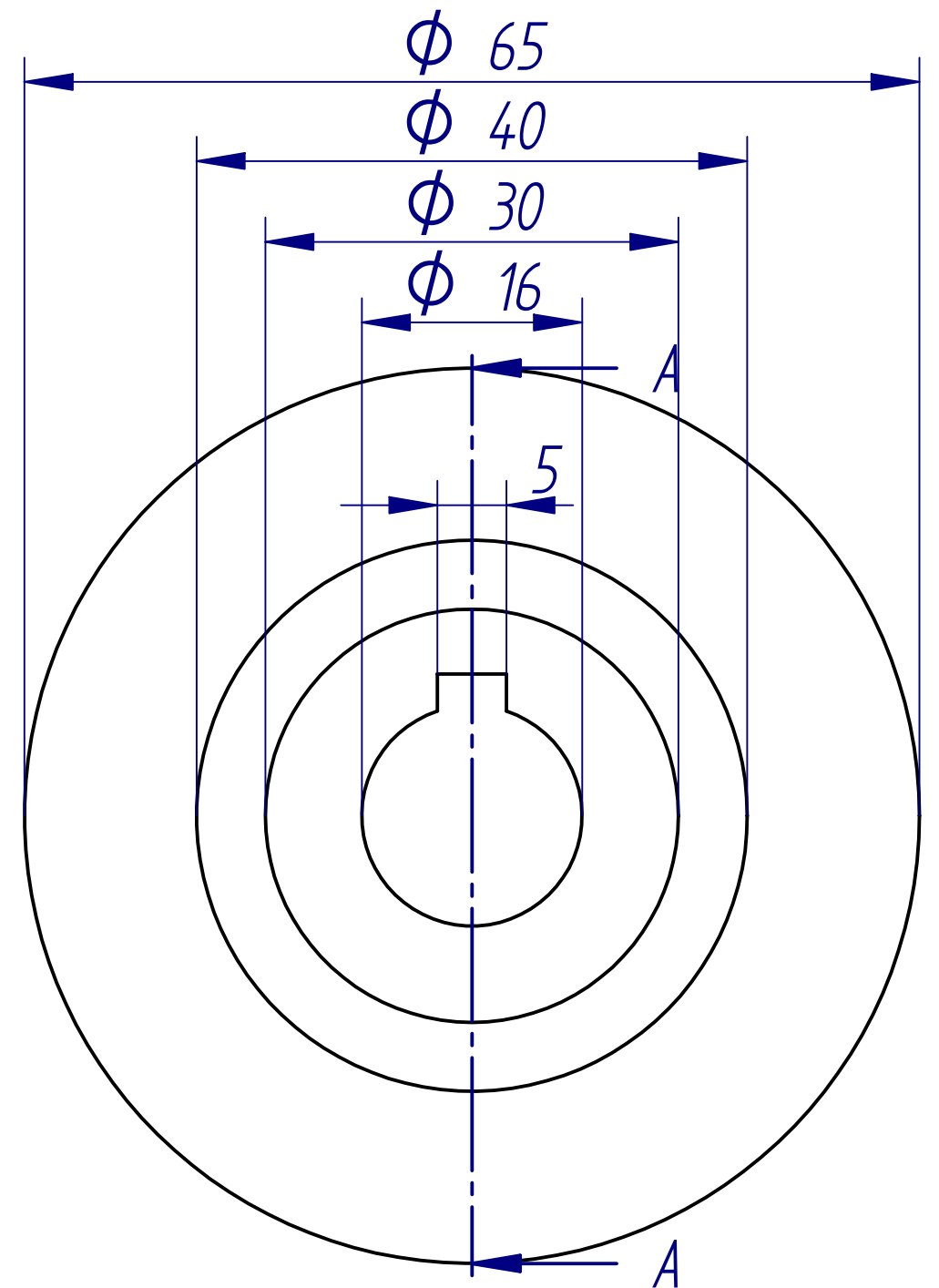
	Nombre	SOLID EDGE E.T.S.I. Universidad de Sevilla	
Dibujado	David Ruiz Verdute		
Comprobado	Aida Estevez Urra	Plano 19	
Salvo indicación contraria cotas en milímetros, ángulos en grado, tolerancias ±0,5 y ±1º		A3	Escala 1:1
		Archivo: PlatoInfN.dft	
		Pieza: Plato Inferior Nuevo	



		Nombre	SOLID EDGE E.T.S.I. Universidad de Sevilla	
Dibujado	David Ruiz Verdute			
Comprobado	Aida Estevez Urra		Plano 20	
Salvo indicación contraria cotas en milímetros, ángulos en grado, tolerancias $\pm 0,5$ y $\pm 1^\circ$		A3	Escala 1:1	
			Archivo: PlatoSupN.dft	
			Pieza: Plato Superior Nuevo	

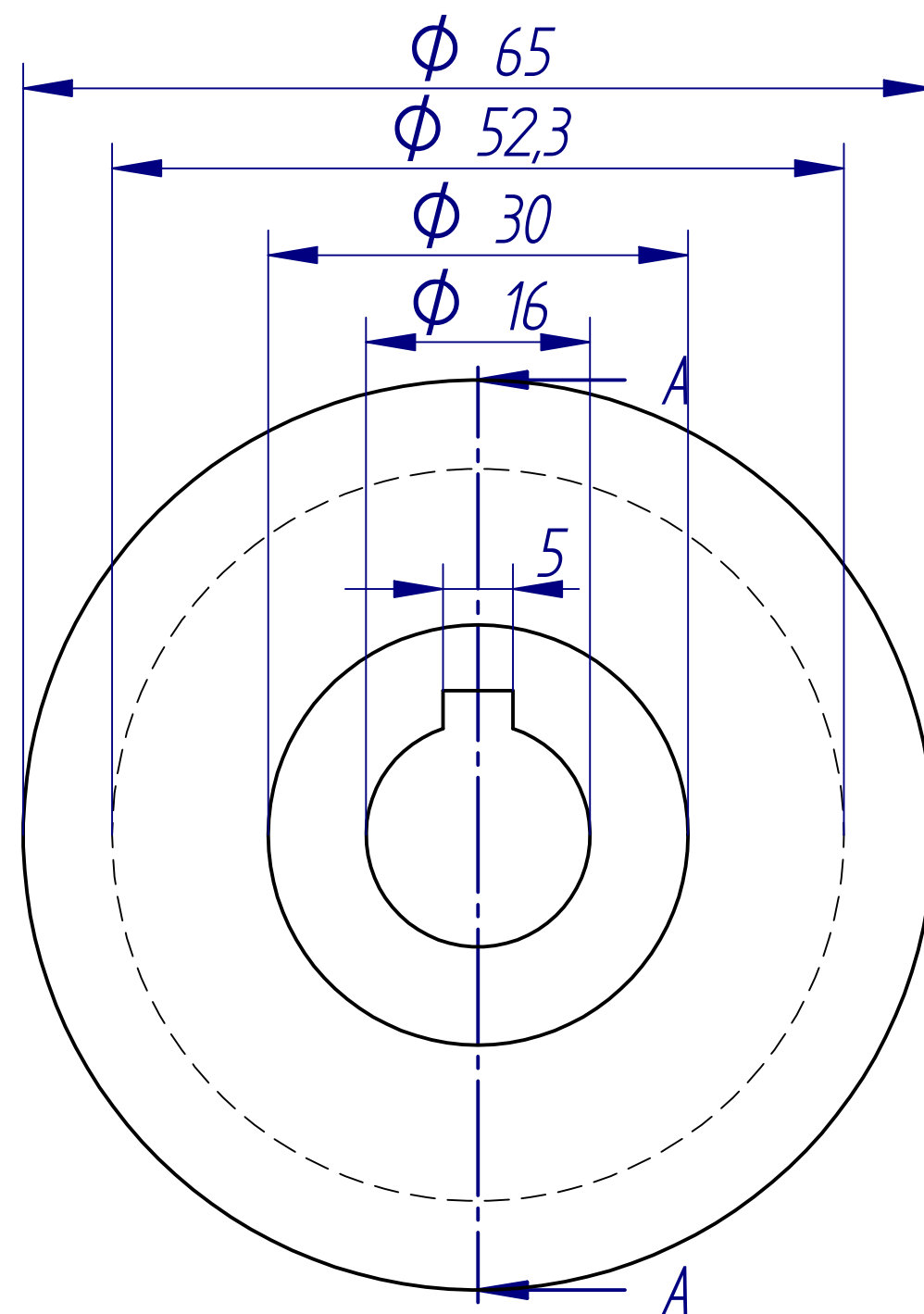
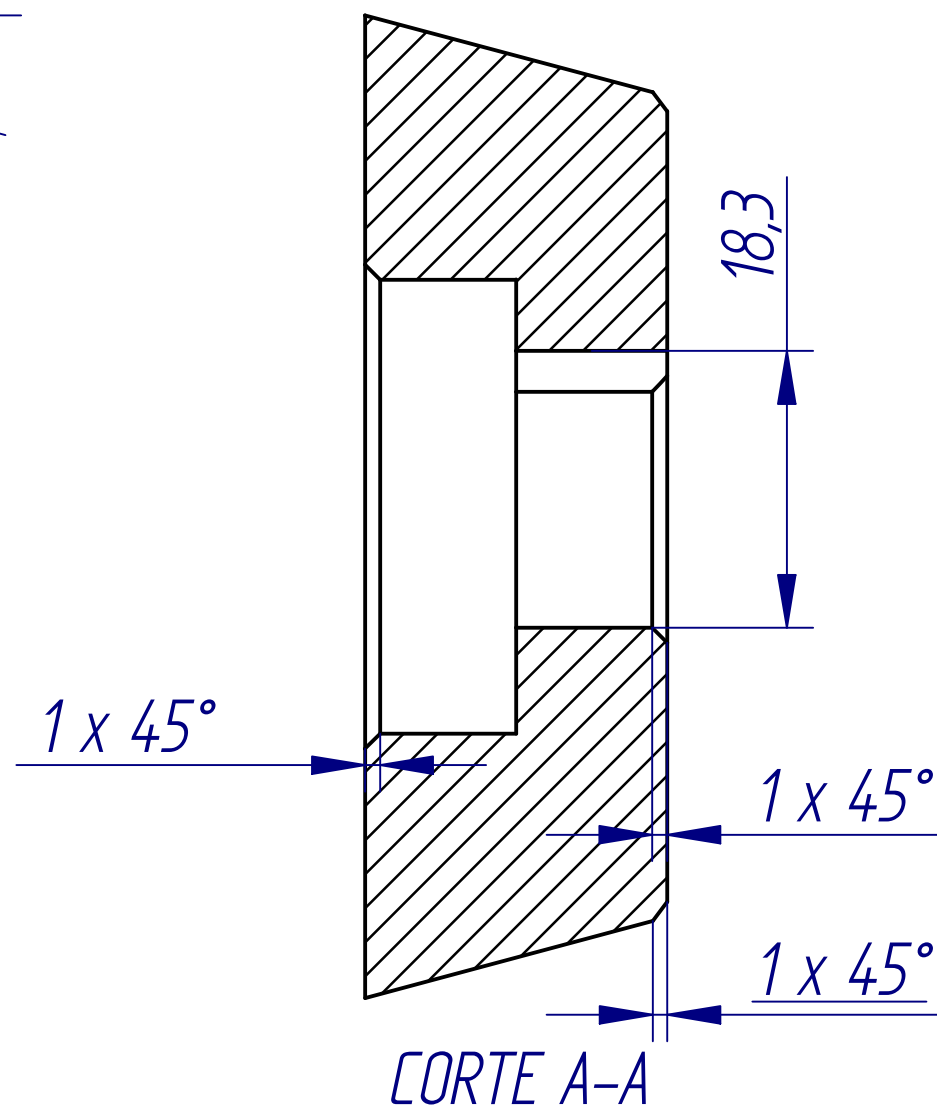
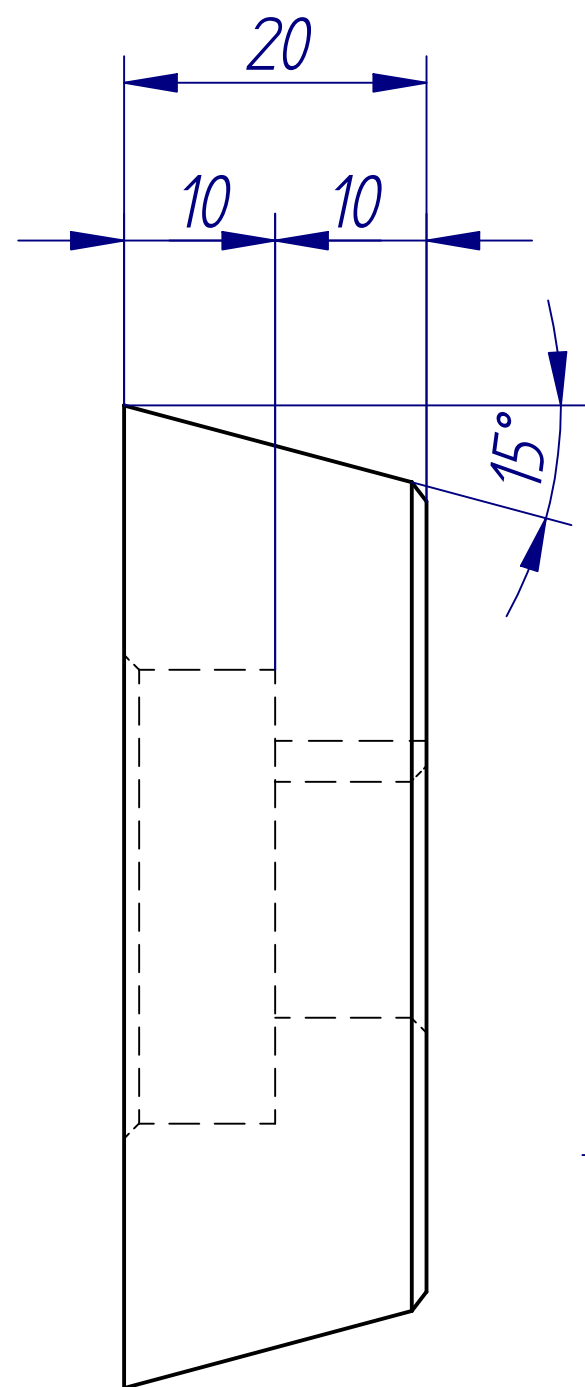


CORTE A-A



SOLID EDGE ACADEMIC COPY

Nombre		UGS SOLID EDGE SIEMENS UGS PLM Software	
Dibujado	Carlos Daza Pelegrina		
Comprobado	A.E.U	Título Cuchilla inferior	
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias ±0,5 y ±1°		A3	Plano 1
		Archivo: Cuchilla_inferior.dft	
		Escala	2:1
		Hoja 1 de 1	



SOLID EDGE ACADEMIC COPY

Nombre		UGS SOLID EDGE SIEMENS UGS PLM Software	
Dibujado	Carlos Daza Pelegrina		
Comprobado	A.E.U	Título Cuchilla superior	
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias $\pm 0,5$ y $\pm 1^\circ$		A3	Plano 2
		Archivo: Cuchilla_superior.dft	
		Escala	2:1 Hoja 1 de 1